

بول ديفيز
الجائزة الكونية الكبرى
لغز ملاءمة الكون للحياة

الجائزة الكونية الكبرى

الجائزة الكونية الكبرى

لغز ملاءمة الكون للحياة

تأليف
بول ديفيز

ترجمة
محمد فتحي خضر

مراجعة
حسام بيومي محمود



الجائزة الكونية الكبرى

Cosmic Jackpot

بول ديفيز

Paul Davies

الطبعة الأولى ٢٠١٢م
رقم إيداع ٢٠١١/١٦٤١٢

مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة
إن مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه
٥٤ عمارات الفتح، حي السفارات، مدينة نصر ١١٤٧١، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥٢ + **فاكس:** ٢٠٢ ٣٥٣٦٥٨٥٣ +
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: http://www.hindawi.org

ديفيز، بول.
الجائزة الكونية الكبرى/بول ديفيز.
٣٥٤ص، ١٦×٢٣سم
تدمك: ٥ ١١ ٥١٧١ ٩٧٧ ٩٧٨

١- الكون

أ- العنوان

٥٢٣٫١

تصميم الغلاف: سيلڤيا فوزي.

المحتويات

إهداء

إلى جون آرتشيبولد ويلر الذي لم يهب أبدًا معالجة الأسئلة الكبرى.

تمهيد وشكر وتقدير

بقلم بول سي دابليو ديفيز

وأنا أحضّر لدرجة الدكتوراه في جامعة لندن في الستينيات أعطاني المشرف على رسالتي تقريرًا فنيًّا مثيرًا للاهتمام كنوع من «الترويح عن نفسي» من مشروعي البحثي الأساسي. كانت تلك الورقة البحثية (التي لم تُنشر قط على النحو الذي قرأتها عليه) مبنية على محاضرة ألقاها عالم الكونيات الإنجليزي الشاب والفيزيائي النظري براندون كارتر في الولايات المتحدة. كان موضوع المحاضرة ثوريًّا وغير عادي. إن العمل المعتاد لعالم الفيزياء النظرية هو البحث في المشكلات غير المحلولة المتعلقة بإحدى الظواهر الطبيعية عن طريق تطبيق قوانين الفيزياء في صورة معادلات رياضية، ثم محاولة حل هذه المعادلات لرؤية مقدار نجاحها في وصف المشكلة الأساسية، إلا أن كارتر كان يواجه مشكلة مختلفة بصورة كلية؛ مشكلة تتعلق بـ «أشكال» القوانين نفسها. لقد سأل نفسه هذا السؤال: «لو افترضنا أن القوانين كانت مختلفة قليلًا عن الشكل الذي هي عليه بالفعل في هذا الجانب أو ذاك، ماذا ستكون عواقب ذلك؟» يُطلق الفلاسفة على هذا النوع من التفكير اسم التحليل المضاد للواقع، ومع أن الأدباء مغرمون منذ وقت طويل بمثل هذا النوع من التفكير (قرأت حديثًا رواية انتصر فيها النازيون على البريطانيين في الحرب العالمية الثانية وصارت إنجلترا تابعة لألمانيا)، فإنه كان تفكيرًا مبتكرًا من جانب أحد العلماء.

كان تركيز تحليل «ماذا لو» الذي قدمه كارتر غير معتاد هو الآخر من جانب الفيزيائيين النظريين؛ إذ إنه ركز على وجود الحياة، وعلى وجه الخصوص اقترحت حسابات كارتر أنه لو كانت القوانين مختلفة بقدر طفيف عما هي عليه بالفعل لأصبح من المحال وجود الحياة، وما خضع الكون للملاحظة. ومن ثم يقول كارتر إن وجودنا يعتمد على قدر محدد من «الضبط الدقيق» للقوانين. ومثلما هو الحال مع العصيدة في قصة ذات الضفائر الذهبية (جولديلوكس) والدببة الثلاثة، بدت قوانين الفيزياء في نظر كارتر «مناسبة تمامًا» للحياة، وكأن هذا أمر مقصود في حد ذاته. وفي تصرف غير حكيم منه أطلق على هذا الضبط الدقيق اسم «المبدأ الإنساني»، مما أعطى الانطباع الخاطئ بأنه متعلق بالبشر على وجه التحديد (مع أن هذا لم يكن مقصده على الإطلاق).

رغم أن ورقة كارتر البحثية اتسمت بالتواضع في منظورها والحذر فيما خلصت له من نتائج، فإنها أطلقت شرارة ثورة حقيقية في التفكير العلمي، وأشعلت جذوة جدل علمي محتدم ساد الأوساط العلمية منذ ذلك الوقت. في سبعينيات القرن العشرين اضطلع كل من مارتن ريز وبرنارد كار بدراسة هذا النوع من التحليل المضاد للواقع، ونتج عن دراستهما هذه ورقة بحثية بارزة نُشرت عام ١٩٧٩.[1] وقد تحمست بقراءة هذه الورقة فألفت كتابًا صغيرًا عن هذا الموضوع بعنوان «الكون العرضي» نشرته جامعة كامبريدج عام ١٩٨٢. بعدها بسنوات قليلة ظهر نص آخر أكثر منهجية واشتمالًا بعنوان «المبدأ الكوني الإنساني» لجون بارو وفرانك تيبلر،[2] وقد شكل هذا النص نقطة بدء لمئات الأبحاث العلمية لسنوات تالية.

في أوائل الثمانينيات تعرض المبدأ الإنساني للانتقاد من جانب عدد كبير من العلماء باعتباره ليس أكثر من لغو شبه ديني. وفي نقد ساخر ورد في مجلة نيويورك ريفيو أوف بوكس عام ١٩٨٦، صنف عالم الرياضيات والكاتب مارتن جاردنر النسخ المقترحة المختلفة للمبدأ الإنساني إلى: المبدأ الإنساني الضعيف، والمبدأ الإنساني القوي، والمبدأ الإنساني المشارك، والمبدأ الإنساني النهائي، وأخيرًا، والمفضل لديه، المبدأ الإنساني السخيف بالكامل.[3] ظلت هذه نبرة الجدل لحوالي العقد أو نحو ذلك. بيد أن التطورات التي شهدتها فيزياء الجسيمات عالية الطاقة وعلم الفلك — خاصة في دراسة الانفجار العظيم الحار الذي مثل لحظة مولد الكون — غيرت الآراء ببطء. إن قوانين الفيزياء، التي كان يُنظر لها وكأنها محفورة في ألواح صخرية، بدأت تبدو أكثر نسبية، وبدأت الأدلة تتزايد مؤكدة على أن بعضًا من هذه القوانين ليس على الأقل

من القوانين الأصلية الجوهرية، بل ليس إلا «قوانين ثانوية»، تنطبق صورتها المألوفة فقط في ظل طاقات أهدأ بكثير مقارنة بالنشاط العنيف الذي ساد وقت الانفجار العظيم. وفي الأساس اقترح التحليل النظري أن بعض ملامح القوانين قد تكون عرضية، مما يعكس تقلب الظروف التي في ظلها هدأت حرارة بقعتنا من الكون عما كانت عليه إبان الانفجار العظيم. يُستنتج من ذلك، بالطبع، أن أشكال هذه القوانين في ظل الحرارة المنخفضة كان من الممكن أن تكون مختلفة، وقد تكون مختلفة بالفعل الآن في مناطق مغايرة من الكون. إن ما اعتدنا أن نطلق عليه اسم «الكون» بدأ يبدو كأنه مجموعة متنوعة من «الأكوان»؛ «غطاء كثير الشقوق من البيئات ذات الخصائص والقوانين الفيزيائية المختلفة»، على حسب وصف ليونارد ساسكيند، عالم الفيزياء النظرية والكونيات بجامعة ستانفورد وأحد كبار أنصار فكرة الكون المتعدد.[4] لن يكون مثيرًا للدهشة إذن أن نجد أنفسنا، بطبيعة الحال، نعيش في منطقة صالحة للحياة؛ إذ إنه من المحال أن نوجد في مكان تستحيل فيه الحياة.

هنا بدأ الملحدون في الاهتمام بالأمر؛ فبسبب عدم رضاهم عما توحي به فكرة الضبط الدقيق للقوانين من وجود لتدخل إلهي، رأوا في نظرية الأكوان المتعددة تفسيرًا أنيقًا لتلك الملاءمة الغامضة للكون للحياة البيولوجية. لذا، وعلى نحو محير، بدأ يُنظر إلى المبدأ الإنساني على أنه بديل علمي لفكرة التصميم ونظرية شبه دينية في الوقت ذاته. بدأت علاقتي بهذا الأمر المتشابك عام ٢٠٠٣، حين أقنعت مؤسسة جون تمبلتون برعاية ورشة عمل عن نظرية الأكوان المتعددة في جامعة ستانفورد، التي تقاسمتُ رئاستها مع عالم الكونيات أندريه ليند. نُشرت نتائج مناقشاتنا في كتاب من تحرير برنارد كار.[5] وفي مارس/آذار من عام ٢٠٠٥ أقيمت ورشة عمل أخرى ركزت تركيزًا أكبر على نظرية الأوتار (وهي المحاولة الشائعة حاليًّا لتوحيد النظريات الفيزيائية).

في الوقت الذي كانت تحدث فيه هذه التطورات النظرية كانت تطورات رائعة تحدث في مجال مراقبة الكون. أتت هذه التطورات نتيجة عمليات المسح الدقيقة المتزايدة للكون بواسطة تلسكوب الفضاء هابل وغيره من أجهزة المراقبة الأرضية، وعملية الرسم الدقيقة للوهج المتبقي من الانفجار العظيم من خلال المسبار WMAP، والاكتشاف غير المتوقع بأن الكون يتمدد بتسارع بموجب تأثير «طاقة مظلمة» غامضة من نوع ما. نتيجة هذه التطورات صار علم الكونيات — الذي ظل لفترة طويلة مجالًا علميًّا راكدًا — من العلوم محل التركيز على

حين غرة، وأصبح يمتلئ بأفكار جديدة، كثير منها مستغرب ومنافٍ للحدس. يبدو أننا ندخل عصرًا جديدًا تتغير فيه وجهة نظرنا حيال الكون وموضع البشر فيه.

في هذا الكتاب سأشرح الأفكار التي تشكل أساس هذه التطورات الجذرية، مُركزًا تركيزًا خاصًّا على «عامل جولديلوكس»، أي ملاءمة الكون للحياة. في الفصول الأولى سأوضح المفاهيم الأساسية لعلوم الفيزياء والكون الحديثة، ثم أصف نظرية الكون المتعدد والحجج المؤيدة والمعارضة لها. وبالقرب من نهاية الكتاب سألقي نظرة ناقدة على الاستجابات المتباينة لموضوع الضبط الدقيق، وسأتساءل أيضًا عما إذا كان العلماء على وشك التوصل إلى نظرية شاملة تفسر كل شيء — تفسيرًا كاملًا مستقلًّا بذاته للكون المادي بأكمله — أم أن الوجود سوف يستمر على غموضه.

في هذه الفصول الأخيرة استقيت الإلهام من عالم الفيزياء النظرية العظيم جون آرتشيبولد ويلر، الذي أهديت له هذا الكتاب. تعرفت لأول مرة على أبحاث ويلر حين كنت طالبًا، وفي الأعوام التالية بدأت في التعرف عليه بصورة أفضل، على المستويين المهني والشخصي. زرته في أوستن بتكساس، وزارني في إنجلترا في عدد من المناسبات. وقد أغدق على كتابي الأول «فيزياء عدم التناظر الزمني»، مديحه الحار واهتم بأبحاثي على مدار ثلاثة عقود. ولقد شرفت بالمشاركة في تنظيم مؤتمر حفل يوم ميلاده التسعين في مارس/آذار من عام ٢٠٠٢، وهو الجمع الذي ضم لفيفًا من أبرز العلماء في برينستون بنيو جيرسي، حيث بدأ ويلر حياته المهنية وأنهاها.

في أواخر ثلاثينيات القرن العشرين عمل ويلر مرافقًا للعالم الأسطوري نيلز بور على بعض الجوانب الجوهرية للانشطار النووي، ثم واصل العمل ليشهد إعادة مولد نظرية الجاذبية في الخمسينيات، مستكملًا العمل الذي بدأه أينشتاين. إن ويلر هو من صك مصطلحات على غرار «الثقوب السوداء» و«الثقوب الدودية». وأهم من كل ذلك فإنه أدرك الحاجة للجمع بين الركيزتين اللتين يقوم عليهما علم الفيزياء في القرن العشرين؛ نظرية النسبية العامة وميكانيكا الكم، في نظرية موحدة للجاذبية الكمية. وقد تمتع العديد من تلامذته بحياة مهنية علمية بالغة التميز، على غرار العالم الشهير الحاصل على جائزة نوبل ريتشارد فاينمان.

اتسم أسلوب ويلر بالتميز؛ إذ كان أستاذًا لما يعرف بـ «تجارب الفكر»، التي يأخذ فيها فكرة مقبولة ثم يبني عليها مجموعة من الاستنتاجات الجامحة كي يرى هل ستصمد أمامها. كان يحب التركيز على الأسئلة الكبيرة: هل يمكن توحيد علم

الفيزياء؟ هل يمكن للزمان والمكان أن ينشآ من كيان أساسي واحد؟ هل يمكن أن تعمل السببية عكس اتجاه الزمان؟ هل يمكن اختصار قوانين الفيزياء المعقدة والمجردة إلى عبارة بديهية واحدة بسيطة؟ وما هو وضع المراقب وسط هذا النظام؟ مدفوعًا بعدم رضاه عن مجرد الاكتفاء بتطبيق قوانين ميكانيكا الكم، أراد أن يعرف من أين أتت هذه القوانين، حيث تساءل: «من أين أتت ميكانيكا الكم؟» أيضًا لعدم سعادته بالتفريق بين مفهومي المادة والمعلومات اقترح فكرة «الشيء من الوحدة»، أي ظهور جزيئات مادية من وحدات المعلومات. والأكثر طموحًا على الإطلاق كان سؤاله: «من أين أتى الوجود؟» وهو محاولة لتفسير «كل شيء» دون اللجوء لأساس ثابت من الحقائق المادية التي يجب القَبول بها بوصفها «مسلمات».

ذات مرة سألت ويلر عما يعتقد أنه أهم إنجازاته، وقد أجابني: «التقلب!» كان يعني بهذا أنه لا شيء مطلق، ولا شيء من الجوهرية بحيث يستحيل تغييره في ظل الظروف المتطرفة الملائمة، وهذا يشمل قوانين الكون نفسها. هذه المفاهيم معًا قادته لاقتراح فكرة «الكون المشارك»، وهي فكرة (أو، كما يفضل ويلر، «فكرة من فكرة») ثبت كونها جزءًا مهمًّا من مناقشة الكون المتعدد/المبدأ الإنساني. مثَّل ويلر — في مبادئه وتوجهاته — قطاعًا عريضًا من العلماء؛ إذ كان ملتزمًا بالكامل بالمنهج العلمي في البحث، لكن دون الخوف من معالجة القضايا الفلسفية العميقة، التي لا يجب أن تكون دينية بالضرورة، بل مستوحاة من تبجيلنا للطبيعة وإحساسنا العميق بأن البشر جزء من نظام أكبر نعجز عن رؤيته بالكامل، كما كان جريئًا بما يكفي بحيث يتبع قوانين الفيزياء حيث تقوده، لكنه لم يكن متعجرفًا بحيث يظن أننا نملك كل الإجابات.

حاولت في هذا الكتاب استخدام لغة غير فنية قدر الإمكان في شروحاتي وذلك بتجنب استخدام المصطلحات الفنية المتخصصة والأوصاف المعقدة التي لا داعي لها. ولا يحوي الكتاب أيضًا إلا أقل قدر ممكن من المعادلات. ومن حين لآخر استخدمت بعض الإطارات لتلخيص عرض أحد الموضوعات الصعبة أو التوسع فيها. بصورة ما يعد هذا الكتاب تكملة لكتابي السابق «عقل الإله»[6] لكن رغم تركيزه على المفاهيم العميقة ذات المغزى فإنه مقصود به أن يكون مقدمة مباشرة لعلم الكونيات الحديث والفيزياء الأساسية. ولقد فرقت تفريقًا واضحًا بين الحقائق الراسخة والتنظير المنطقي والفرضيات الجامحة. إن الغرض الأساسي لهذا الكتاب هو أن يكون أقرب ما يمكن للبحث العلمي والتفكير المنطقي، وذلك كي يعالج

أسئلة الوجود الصعبة. ولم أحاول الأخذ بأي من طرق الاستكشاف الأخرى مثل التصوف أو التنوير الروحي أو الإلهام الناتج عن الخبرات الدينية.

ساعدني الكثيرون في هذا الكتاب. أولهم وأهمهم زوجتي، بولين، التي تملك رأيًا حاسمًا حيال أي استنتاج مبهم أو افتراضات غير مبررة، واهتمامًا دقيقًا بالتفاصيل. لقد قرأت نص الكتاب بتدقيق استثنائي، متصيدة أي تفسيرات محيرة أو استنتاجات غير صائبة، ووجهت لي اللوم على ميلي الذي يتعذر كبحه للانزلاق إلى التفلسف الحالم. (وقد انتقدت أيضًا أن الكتاب انتهى حين بدأ يكون مشوقًا ومثيرًا للاهتمام.) إن وجود هذه الناقدة الصارمة بالقرب مني حَسَّنَ مستوى الكتاب تحسينًا هائلًا. كان وكيلي الأدبي، جون بروكمان، هو القوة الدافعة خلف هذا المشروع، حيث أدرك أن علم الكونيات يقع الآن في مفترق طرق، وأن العامة من القراء في حيرة شديدة جراء الكم الهائل من الاكتشافات والنظريات الجديدة. ولقد استفدت كثيرًا من المشاركين في ورشتي العمل اللتين أقيمتا في جامعة ستانفورد، خاصة أندريه ليند. وإنني ممتن لمؤسسة جون تمبلتون لأنها كانت السبب وراء ظهور هاتين الورشتين إلى النور. على مر السنين أثر أشخاص كثيرون على تفكيري، في حالات كثيرة من خلال التواصل والنقاشات الشخصية، وأيضًا من خلال أعمالهم المكتوبة؛ من هؤلاء نانسي أبرامز، وجون بارو، وبرنارد كار، وبراندون كارتر، وديفيد دويتش، ومايكل داف، وجورج إليس، وديفيد جروس، وجون ليزلي، وتشارلز لاينويفر، وجويل بريماك، ومارتن ريز، وفرانك تيبلر، وبالطبع جون ويلر. وأود أن أشكر كريس فوربس على ملحوظاته التي أبداها على جزء من مخطوطة الكتاب التمهيدية وجون وودراف على اهتمامه الشديد في تحرير الكتاب.

ملحوظة عن الأرقام

في هذا الكتاب سأتعامل مع أرقام كبيرة للغاية وأخرى صغيرة للغاية. في أحوال عديدة كتبت هذه الأرقام بالكلمات، لكن في بعض المواضع، بسبب الضرورة، اعتمدت على الصيغة التقليدية التي تستخدم الأسس للأساس ١٠ على النحو الآتي:

مليون	١٠٠٠٠٠٠	$١٠^{٦}$
مليار	١٠٠٠٠٠٠٠٠٠	$١٠^{٩}$
تريليون	١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠	$١٠^{١٢}$
واحد على مليون	١/١٠٠٠٠٠٠	$١٠^{-٦}$
واحد على مليار	١/١٠٠٠٠٠٠٠٠٠	$١٠^{-٩}$
واحد على تريليون	١/١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠	$١٠^{-١٢}$

الفصل الأول

الأسئلة الكبرى

(١) مواجهة لغز الوجود

لآلاف السنين فكر البشر في العالم المحيط بهم محاولين معرفة إجابة أسئلة الوجود العظيمة: لماذا نحن هنا؟ كيف بدأ الكون؟ وكيف سينتهي؟ وكيف تكوّن العالم؟ ولماذا هو على النحو الذي هو عليه؟ وعلى مدار التاريخ الإنساني المدون بحث الناس عن إجابات لهذه الأسئلة «المطلقة» في الأديان والفلسفات، أو أعلنوا أنها تقع خارج نطاق الفهم البشري. لكن العديد من هذه الأسئلة صار جزءًا من العلم اليوم، ويزعم بعض العلماء أنهم على وشك تقديم إجابات لها.

عزز تطوران رئيسيان من ثقة العلماء من أن الإجابة قريبة المنال؛ أولهما: هو التقدم الهائل في علم الكونيات، والمقصود به دراسة البنية الكلية للكون وتطوره؛ فالملاحظات التي توفرها لنا الأقمار الصناعية، وتلسكوب الفضاء هابل، ومعدات المراقبة الأرضية المتقدمة اجتمعت معًا كي تغير من نظرتنا إلى الكون ومكان الإنسان داخل هذا الكون. ويتمثل التطور الثاني في فهمنا المتزايد للعالم الميكروسكوبي داخل نواة الذرة، وهو الموضوع المعروف باسم فيزياء جسيمات الطاقة العالية، وعادة يتم ذلك عن طريق المسارعات الجزيئية العملاقة (ما كانت تعرف في السابق باسم «محطمات الجزيئات») من النوع الموجود في معمل فيرميلاب قرب شيكاجو ومعمل سيرن على أطراف جينيف. بالجمع بين الاثنين يتوافر لدينا إشارات إيجابية عن ذلك الرابط العميق الذي لم يخضع للبحث من قبل بين عالم الجسيمات الدقيقة وعالم الأجرام الهائلة. إن علماء الكونيات مغرمون بالقول إن الانفجار العظيم، الذي نتج عنه مولد الكون منذ مليارات السنين، كان أكبر تجربة لفيزياء الجسيمات. تقودنا هذه التطورات الهائلة صوب أمر آخر

أعظم، ألا وهو التوصل لوصف كامل موحد للطبيعة، «نظرية كل شيء» يكون فيها التوصيف الكامل للعالم المادي بأسره مدمجًا في مخطط تفسيري واحد.

(٢) الكون ملائم للحياة

من أكثر الحقائق أهمية — بل ربما أكثرها أهمية — بخصوص الكون أننا جزء منه. لكن ينبغي من البداية أن أقر بأن العديد من العلماء والفلاسفة يختلفون بشدة مع هذه العبارة؛ بمعنى أنهم لا يرون للحياة أو الوعي البشري أي أهمية في النظام الكوني، إلا أنني أولي أهمية كبيرة للحياة والعقل (الوعي)، وذلك لأسباب سأذكرها قريبًا. من الوهلة الأولى قد لا يبدو أن هناك علاقة بين الحياة وعلم الكونيات. من المؤكد بالطبع أن سطح كوكب الأرض تغير بفعل الحياة، لكن على النطاق العظيم للكون ما كوكب الأرض إلا نقطة متناهية الصغر. ومع ذلك هناك إحساس غير مباشر بأن وجود الحياة في الكون هو حقيقة كونية لها أهميتها؛ إذ إنه كي تظهر الحياة، ثم تتطور إلى كائنات واعية مثلنا، من الحتمي الوفاء بشروط معينة؛ فمن المتطلبات الأساسية للحياة — على الأقل الحياة كما نعرفها — وجود مخزون كافٍ من العناصر الكيميائية المتنوعة اللازمة لتكوين الكتلة البيولوجية. إن الكربون هو العنصر الأهم لظهور الحياة، إلا أن للأكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكبريت والفسفور أهميتها هي الأخرى. ويعد الماء السائل من المكونات الضرورية للحياة هو الآخر. وتتطلب الحياة أيضًا مصدرًا للطاقة وبيئة مستقرة، وهو ما يتوفر في حالتنا عن طريق الشمس. كي تتطور الحياة لما بعد مستوى الميكروبات البسيطة، ينبغي أن تستمر هذه البيئة المشجعة للحياة على اعتدالها لوقت طويل، وقد استغرق الأمر مليارات السنين كي تصل الحياة على الأرض لمرحلة الذكاء.

على نطاق أشمل ينبغي أن يكون الكون قديمًا وباردًا بشكل ملائم بما يسمح بوجود مثل هذه الكيمياء المعقدة، وينبغي أن يتسم بقدر كاف من التنظيم بحيث يستوعب ذلك التكوين غير المحدود من المجرات والنجوم. أيضًا لا بد من وجود نوعية مناسبة من القوى بين جزيئات المادة كي تعمل على إيجاد ذرات مستقرة، وجزيئات معقدة، وكواكب، ونجوم. إن كان أي من الملامح الأساسية للكون مختلفًا — بداية من خصائص الذرات إلى توزيع المجرات — لكان من المحال ظهور الحياة.[1] يتصادف أنه من أجل تحقيق هذه المتطلبات المتعددة ينبغي الالتزام بعدد من الشروط

الصارمة في قوانين الفيزياء الأساسية التي تنظم حركة الكون، وهي صارمة إلى حد أن حقيقة أن الكون ملائم للحياة تبدو كأنها مدبرة، أو «مقصودة»، إذا استخدمنا الوصف القوي لعالم الكونيات البريطاني الراحل فريد هويل. بدا لهويل كما لو أن هناك قوى ما «تعدل» من قوانين الفيزياء.[2] وقد كان محقًّا في فكرته هذه؛ فمن الظاهر يبدو الكون بالفعل كما لو أنه مصمم تصميمًا مقصودًا من أجل ظهور الحياة البشرية العاقلة. تمامًا مثل العصيدة في حكاية جولديلوكس والدببة الثلاثة، يبدو كأن الكون «ملائم تمامًا» للحياة، بصور عديدة مثيرة للاهتمام. ولا يمكن اعتبار أي تفسير علمي للكون كاملًا إذا لم يضع في الحسبان فكرة التصميم الحصيف تلك.

حتى وقت قريب كان «عامل جولديلوكس» محل تجاهل من جانب العلماء، لكن هذا الأمر يتغير الآن تغيرًا سريعًا. وكما سأناقش في الفصول التالية، صار العلم على وشك العثور على حل لغز ملاءمة الكون للحياة بهذا الشكل المذهل، لكن يتطلب هذا التفسير فهم كيفية بداية الكون وتطوره إلى شكله الحالي، ومعرفة المادة التي يتكون منها، وكيف يتشكل ويتركب بفعل قوى الطبيعة المختلفة. وأهم من كل ذلك يتطلب الأمر منا أن نتقصى طبيعة قوانين المادة نفسها.

(٣) الشفرة الكونية

على مدار التاريخ اقتنع العديد من المفكرين البارزين بأن العالم الذي نرصده بحواسنا ليس إلا تجسيدًا سطحيًّا لحقيقة خفية أعمق، من المفترض أن نعثر بها على إجابات أسئلة الوجود العظيمة. ظل هذا الاعتقاد مسيطرًا حتى إن مجتمعات بأكملها تشكلت وفقه. استعان الباحثون عن الحقيقة بطقوس وشعائر، واستخدموا العقاقير والتأمل من أجل الدخول في حالات أشبه بالغشية، واستشاروا الكهنة والمتصوفين ورجال الدين في محاولة منهم لكشف النقاب عن العالم الغامض الواقع خلف ذلك الذي ندركه. وقد ظل البحث عن سبيل لذلك العالم الخفي شغلًا شاغلًا لجميع الثقافات، بداية من أساطير سكان أستراليا الأصليين وصولًا إلى فكرة تذوق آدم وحواء الثمرة المحرمة لشجرة المعرفة.

لم يساعد الجدل الفكري والمنطق على التخلص من الفكرة الآسرة بوجود حقيقة خفية. شبَّه الفيلسوف اليوناني القديم أفلاطون عالمنا الظاهر بظل يتراقص

على جدران أحد الكهوف، وكان أتباع فيثاغورث مقتنعين بأن الأرقام تحمل مغزى خفيًّا، ويذخر الإنجيل بإشارات عديدة للأعداد، على سبيل المثال الظهور المتكرر للرقمين ٧ و٤٠، أو ارتباط العدد ٦٦٦ بالشيطان. إن قوة الأرقام قادت إلى الاعتقاد بأنه بإمكان أرقام، وأشكال هندسية، ومعادلات بعينها أن تنشئ تواصلًا مع ذلك العالم الخارق للطبيعة، وأنه يمكن لشفرات غامضة، معروفة فقط للمطلعين، أن تكشف لنا عن أسرار الكون الخفية.[3] لا تزال بقايا علم الأعداد العتيق موجودة في وقتنا هذا؛ إذ يعتقد بعض المؤمنين بالخرافات أن أرقامًا مثل ٨ و١٣ قد تكون جالبة للحظ السعيد أو التعيس.

لم تحقق محاولات اكتساب معلومات مفيدة عن العالم من خلال السحر والتصوف والشفرات الرياضية السرية أي نجاح. لكن منذ حوالي ٣٥٠ عامًا عثر أعظم ساحر عرفته البشرية على مفتاح الكون، شفرة كونية يمكنها فتح أبواب المعرفة. كان هذا الرجل هو إسحاق نيوتن، المتصوف وعالم اللاهوت والخيميائي، ورغم ميله للتصوف فإنه كان أكثر من أسهم في تغيير عصر السحر إلى عصر للعلم. أسهم نيوتن، مع عدد قليل من العلماء البارزين من بينهم نيكولاس كوبرنيكوس ويوهانز كبلر وجاليليو جاليلي، في ميلاد عصر العلم الحديث. إن كلمة science التي تعني «علم» بالإنجليزية مشتقة من الكلمة اللاتينية scientia التي تعني «المعرفة». في البداية لم يكن العلم إلا أسلوبًا غامضًا آخر من الأساليب الكثيرة التي تسعى للتغلب على قصور حواسنا على أمل الوصول إلى الحقيقة غير المرئية. لكن هذا النوع تحديدًا من «السحر» الذي وظفه العلماء الأوائل تضمن إجراءات خاصة لم تكن مألوفة حتى ذلك الوقت؛ على غرار إجراء الحسابات باستخدام الرموز الرياضية على قطع من الورق واستمالة المادة للتصرف على نحو غريب. اليوم نحن نأخذ هذه الأمور كأمور مسلم بها ونطلق عليها نظريات وتجارب علمية. لم يعد منهج البحث العلمي فرعًا من السحر؛ تلك الهواية الغريبة التي تمارسها جماعة مغلقة من الكهنة. إلا أن الألفة تولد الازدراء، وفي أيامنا هذه بات يُنظر إلى أهمية المنهج العلمي بنوع من عدم التقدير. وعلى وجه الخصوص لا يندهش الناس كثيرًا من أن العلم «ناجح» بالفعل، وأننا نملك بين يدينا مفتاح هذا الكون. لقد كان القدماء محقين؛ فأسفل ذلك التعقيد السطحي للطبيعة يكمن معنى ضمني، مكتوب بشفرة رياضية بارعة. تحتوي هذه الشفرة الكونية[4] على القواعد السرية التي يسير العالم وفقًا لها. تعامل نيوتن وجاليليو وغيرهما من أوائل

العلماء مع هذا البحث كنوع من السعي الديني؛ إذ كانوا يعتقدون أنه بالكشف عن الأنماط المنسوجة في عمليات الطبيعة سيتعرفون بشكل أكبر على عقلية الخالق.[5] لا يتعامل أغلب العلماء المعاصرين مع العلم من المنظور الديني، ومع ذلك فهم يقبلون بوجود نص واضح تعمل الطبيعة وفقه، لأنهم لو لم يؤمنوا بذلك فسيفتقدون الدافع للبحث العلمي من الأساس، وهو الكشف عن شيء ذي معنى بشأن العالم لسنا على معرفة به بالفعل.

لم يكن العثور على مفتاح الكون أمرًا حتميًّا، ففي البداية لا يوجد سبب منطقي يحتم وجود هذا النص الرياضي الكامن في الطبيعة من الأساس. وحتى لو كان موجودًا فلا يوجد سبب واضح يجعل البشر قادرين على فهمه. إنك لن تستطيع قط بالنظر إلى العالم المادي تخمين أن أسفل سطح الظواهر الطبيعية المضطربة يكمن نظام مجرد لا يمكن رؤيته أو سماعه، فقط يمكن استنتاج وجوده. وحتى أصحاب أذكى العقول لا يمكنهم من واقع الخبرات اليومية وحدها أن يدركوا أن النظم الطبيعية المتباينة التي يتألف منها الكون متصلة، في أعماقها، بواسطة شبكة من العلاقات الرياضية المشفرة. ومع ذلك فقد كشف العلم عن وجود هذا النطاق الرياضي الخفي، وهكذا صرنا، نحن البشر، مطلعين على كيفية عمل الكون. إن الحيوانات الأخرى تشاهد نفس الظواهر مثلنا، لكن المخلوق الوحيد على سطح هذا الكوكب الذي تمكن من تفسيرها هو الإنسان العاقل.

كيف تحقق هذا؟ بشكل ما صمم الكون، ليس فقط وعيه الخاص، بل أيضًا فهمه الخاص. لقد تآزرت الذرات المتخبطة غير العاقلة كي لا توجد الحياة وحدها، ولا العقل وحده، بل الفهم أيضًا. وهكذا أنتج الكون المتطور بشرًا قادرين ليس فقط على مشاهدة العرض، بل على كشف حبكته أيضًا. ما الذي مكن شيئًا صغيرًا رقيقًا متكيفًا مع الحياة الأرضية كالمخ البشري أن يتوحد مع شمولية الكون والنغمة الرياضية الصامتة التي يرقص وفقًا لها؟ حسب علمنا، هذه هي المرة الأولى والوحيدة في أي مكان من الكون التي تفهمت فيها العقول الشفرة الكونية. وإذا زال البشر من الوجود في غمضة عين كونية فقد لا يحدث هذا مجددًا. قد يستمر الكون لتريليون عام أخرى، محاطًا بالغموض التام، خلا لحظة تنوير عابرة مرت على كوكب صغير يدور حول نجم عادي في مجرة لا يميزها شيء، ظهرت للوجود بعد ١٣٫٧ مليار عام من بداية كل شيء.

هل لا يمكن أن يكون هذا إلا مصادفة؟ هل حقيقة ارتباط أعمق مستويات الواقع مع ظاهرة طبيعية خاصة نطلق عليها «العقل البشري» قد لا تمثل سوى لحظة شذوذ وقتية عجيبة مرت بهذا الكون العبثي الذي بلا معنى؟ أم أن هناك حبكة أخرى أعمق تؤدي عملها؟

(٤) مفهوم القوانين

ربما أوصلت لك انطباعًا بأن نيوتن كان ينتمي لطائفة صغيرة توصلت إلى العلم بطريقة مفاجئة أثناء الاجتهاد الروحي، إلا أن هذا ليس صحيحًا. إن عملهم لم يجرِ في فراغ ثقافي، بل كان نتاجًا لتقاليد عديدة قديمة، إحداها جاء من الفلسفة الإغريقية، التي شجعت على فكرة أن العالم يمكن تفسيره بالمنطق والتفكير والحسابات الرياضية. تقليد آخر هو الزراعة، التي تعلم الناس منها النظام والفوضى عن طريق مراقبة دورات الطبيعة وإيقاعاتها، التي تقاطعها الكوارث المفاجئة غير المتوقعة. أيضًا لعبت الأديان دورًا، خاصة الديانات التوحيدية التي شجعت على الإيمان بفكرة العالم المخلوق المنظم. إن الافتراض الذي قام عليه العلم هو أن الكون المادي ليس اعتباطيًّا أو منافيًا للعقل، إنه ليس ركامًا لا معنى له من الأشياء والظواهر الموضوعة جنبًا إلى جنب بشكل عشوائي، بل هناك «نظام متسق» للأمور. عادة ما يعبَّر عن هذه الفكرة بالحكمة المأثورة التي تقول إن هناك نظامًا في الطبيعة. لكن العلماء تجاوزوا هذه الفكرة المبهمة ومضوا ليصوغوا نظامًا من «القوانين» الدقيقة.

إن وجود قوانين الطبيعة هو نقطة البدء التي ينطلق منها هذا الكتاب، بل في الحقيقة هو نقطة البدء للعلم نفسه، لكن من البداية سنواجه بلغز بديهي وعميق وهو:

من أين أتت قوانين الطبيعة؟

كما أشرت، فإن نيوتن وجاليليو، ومعاصريهما، نظروا إلى القوانين بوصفها أفكارًا في عقل الخالق، وأن الصيغ الرياضية الأنيقة هي تجسيد للخطة المنطقية الإلهية التي يسير الكون وفقًا لها. قليل من علماء اليوم هم من قد يصفون قوانين الطبيعة بمثل هذه الكلمات الغريبة. ومع ذلك يبقى التساؤل الخاص بماهية هذه القوانين

ولماذا تتخذ الشكل الذي هي عليه، وكيف، في غير ضوء فكرة التدبير الإلهي، يمكن تفسيرها؟

من الناحية التاريخية شُبهت قوانين الطبيعة بالقانون المدني، الذي نشأ كوسيلة لتنظيم المجتمع الإنساني. يعود مفهوم القانون المدني إلى وقت استقرار أول المجتمعات، حين ظهر احتياج لنوع من السلطة للحيلولة دون الاضطراب المجتمعي. وبشكل تقليدي كان القائد المستبد يصوغ مجموعة من القواعد ثم يجبر العامة على الانصياع لها. وبما أن القواعد التي تناسب شخصًا قد لا تلائم آخر، اعتاد الحكام الالتجاء إلى السلطة الإلهية لتدعيم سلطاتهم. قد يكون إله مدينة ما ليس إلا تمثالًا حجريًّا موضوعًا بميدان المدينة، ويعين أحد الكهنة من أجل تأويل أوامر هذا الإله. إن فكرة التحول إلى سلطة عليا غير مادية كنوع من التأييد للقوانين المدنية موجودة في الوصايا العشر والتوراة لدى اليهود. واستمرت بقايا هذه الفكرة حتى العصر الحديث على صورة مفهوم الحق الإلهي الذي يحكم بموجبه الملوك.

أيضًا تم الالتجاء إلى القوى العليا الخفية بغرض دعم قوانين الطبيعة. في القرن الرابع قبل الميلاد وصف الفيلسوف الرواقي كليانثيز «الطبيعة الشاملة التي تقود كل شيء وفق القانون.»[6] ربما تبدى نظام الطبيعة في أوضح صوره في السماء، نطاق الآلهة الأساسي. وفي الحقيقة، فإن مصطلح علم الفلك، astronomy بالإنجليزية، يعني «قانون النجوم». في القرن الأول قبل الميلاد أشار الشاعر الروماني لوكريتيوس إلى الطريقة التي تطلب بها الطبيعة «من كل شيء أن ينصاع للقانون الذي يحكم خلقه.»[7] في القرن الأول الميلادي عبر ماركوس مانيليوس بوضوح عن مصدر النظام في الطبيعة حين كتب: «لقد أخضع الله الكون بأكمله للقانون.»[8] كان هذا هو المبدأ الذي يعتنقه بإخلاص أتباع الديانات التوحيدية: أن الله هو الخالق وواضع القوانين، وهو الذي نظم الطبيعة وفق أغراضه الإلهية. ومن هذا المنطلق كتب عالم اللاهوت أوجستين: «إن المسلك المعتاد الذي تسلكه الطبيعة في الخلق بأكمله له قوانين طبيعية محددة.»[9]

بحلول القرن الثالث عشر كان علماء اللاهوت وطلاب العلم في أوروبا، أمثال روجر بيكون، قد وصلوا إلى نتيجة مفادها أن قوانين الطبيعة لها أساس رياضي، وهي الفكرة التي تعود جذورها إلى فيثاغورث. صارت جامعة أكسفورد وجهة لطلاب العلم الذين طبقوا الفلسفة الرياضية على دراسة الطبيعة. من أولئك الذين يطلق عليهم «حاسبو أكسفورد» توماس برادواردين (١٢٩٥–١٣٤٩)، الذي صار

رئيس أساقفة كانتربيري. يُنسب لبرادواردين أول عمل علمي يعلن عن قانون رياضي فيزيائي عام بالمفهوم الحديث. في ظل هذه الخلفية ليس من المستغرب إذن أنه حين ظهر العلم الحديث في أوروبا المسيحية في القرنين السادس عشر والسابع عشر، كان من الطبيعي للعلماء الأوائل أن يؤمنوا بأن القوانين التي كانوا يكتشفونها في السماء والأرض كانت محض تجسيدات لخطة العمل الإلهية المثالية.

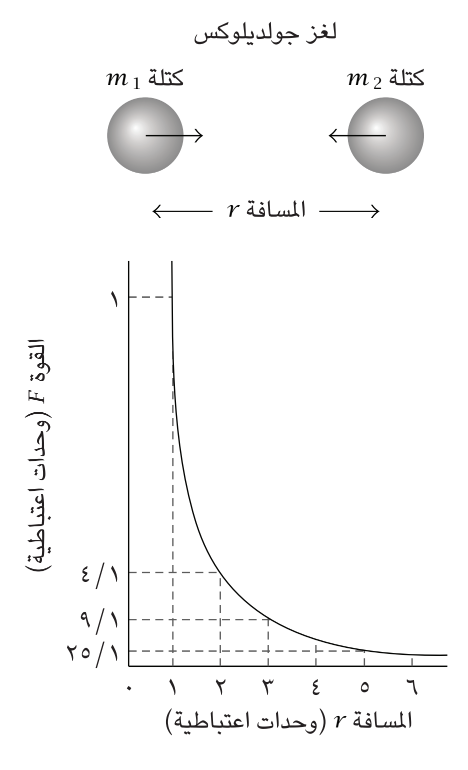
(٥) المكانة الخاصة لقوانين الفيزياء

اليوم، تحتل قوانين الفيزياء الموضع المركزي في العلم، بل في الواقع صار لها قدسية خاصة، وعادة ما يستشهد بها كأساس للواقع المادي. دعني أعطك مثالًا من الحياة اليومية، إذا ذهبت إلى بيزا في إيطاليا، ستتمكن من رؤية برج بيزا المائل الشهير (الآن عُدل وضعه بواسطة بعض الأعمال الهندسية بحيث يكون الميل آمنًا). يُروى أن جاليليو ألقى بعض الكرات من قمة البرج كي يبين كيفية سقوطها بفعل الجاذبية. وسواء كانت هذه القصة صحيحة أم لا، إلا أنه بالتأكيد أجرى بعض التجارب الدقيقة على الأجسام الساقطة، وبهذا تمكن من اكتشاف القانون التالي: إذا أسقطت كرة من قمة مبنى مرتفع وقست المسافة التي ستقطعها خلال ثانية واحدة، ثم كررت التجربة على ثانيتين، ثم ثلاث ثوان، وهكذا دواليك، ستجد أن المسافة التي تقطعها الكرة تتزايد بمقدار مربع زمن السقوط، فالكرة ستسقط في ثانيتين أربعة أضعاف مقدار سقوطها في ثانية واحدة، وتسعة أضعاف في ثلاث ثوان، وهكذا. يتعلم طلبة المدارس هذا القانون بوصفه من «حقائق الطبيعة» وفي المعتاد لا يولونه الكثير من التفكير. لكني أريد التوقف هنا وأسأل هذا السؤال: لماذا؟ لماذا يحكم هذا القانون الرياضي حركة الأجسام الساقطة؟ من أين تأتي القاعدة؟ ولماذا تنطبق هذه القاعدة وليست غيرها؟

دعني أعطك مثالًا آخر على قوانين الفيزياء، وهو قانون ترك تأثيرًا كبيرًا عليّ وأنا في أيام الدراسة، يخص هذا القانون الطريقة التي تفقد بها قطع المغناطيس القدرة على جذب بعضها بعضًا مع الابتعاد. ضع القطع بعضها إلى جوار بعض ثم قس قوة الجذب مع تزايد المسافة بينها. ستجد أن قوة الجذب تقل بمعدل مكعب المسافة، بمعنى أنك إذا ضاعفت المسافة بين قطعتي المغناطيس فستقل قوة الجذب إلى الثمن، وإذا ضاعفتها ثلاث مرات فستقل القوة إلى واحد على سبعة وعشرين، وهكذا. ومرة ثانية يحضرني نفس السؤال: لماذا؟

بعض قوانين الفيزياء تحمل اسم مكتشفيها على غرار قانون بويل للغازات الذي يخبرك بأنك إذا ضاعفت حجم كتلة ثابتة من الغاز مع الحفاظ على درجة الحرارة دون تغيير، يقل الضغط إلى النصف. أو قوانين كبلر لحركة الكواكب التي يقول أحدها إن مربع فترة الدوران يتناسب طرديًّا مع مكعب نصف قطر المدار. ربما يكون أشهرها هي قوانين نيوتن للحركة والجاذبية، ذلك الأخير الذي يقال إنه استُوحي من سقوط تفاحة من إحدى الأشجار. ينص قانون الجاذبية هذا على أن قوة الجاذبية تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة التي تفصل الجسمين. يعني هذا أن القوة التي تربط كوكب الأرض بالشمس وتمنعه من التحليق بعيدًا في الفضاء ستقل إلى الربع إذا كان مدار الأرض حول الشمس ضعف المدار الحالي. يعرف هذا القانون باسم قانون التربيع العكسي. يقدم الشكل رقم ١-١ توضيحًا لهذا القانون.

إن حقيقة انصياع العالم المادي للقوانين الرياضية قادت جاليليو إلى تلك العبارة الشهيرة التي قال فيها: «إن كتاب الطبيعة العظيم يمكن قراءته فقط بواسطة من يعرفون اللغة التي كتب بها، وهذه اللغة هي الرياضيات.»[10] عُبِّر عن نفس النقطة بوضوح أكبر بعدها بثلاثة قرون على لسان عالم الفلك البريطاني جيمس جينز حين قال: «يبدو كأن الكون صُمم على نحو رياضي صرف.»[11] إن هذا الجانب الرياضي هو الذي يجعل ما يعنيه الفيزيائيون بكلمة «نظرية»، التي كثيرًا ما يساء فهمها، ممكنًا. تستلزم الفيزياء النظرية كتابة معادلات تسجل (أو تُنَمْذِج، كما يقول العلماء) العالم الحقيقي في عالم رياضي من الأرقام والمعادلات الجبرية. بعد ذلك، من خلال العمل على الرموز الرياضية، يمكن لنا التوصل لما سيحدث في العالم الحقيقي، دون مشاهدة هذا الأمر وهو يحدث حدوثًا فعليًّا. يعني هذا أنه بتطبيق المعادلات التي تعبر عن القوانين المتصلة بالمشكلة محل الاهتمام، يمكن لعالم الفيزياء النظرية التنبؤ بالإجابة. على سبيل المثال، باستخدام قوانين نيوتن للحركة والجاذبية يمكن للمهندسين تحديد متى تصل المركبة الفضائية المنطلقة من الأرض إلى كوكب المريخ. أيضًا يمكنهم حساب كميات الوقود المطلوبة، وأفضل مدار مناسب، وعدد كبير من العوامل الأخرى قبل بدء المهمة الفعلية. وهذا الأمر ينجح! إن النموذج الرياضي يصف بأمانة ما سيحدث بالفعل في العالم الحقيقي. (بالطبع عند التطبيق العملي ربما يكون علينا تبسيط النموذج من أجل توفير وقت هذا التحليل وتكلفته، ما يجعل التنبؤات صحيحة فقط بمستوى معين من التقريب، بيد أن هذا ليس خطأ القوانين.)



شكل ١-١: **قانون التربيع العكسي للجاذبية:** تقل قوة التجاذب بين كتلتين m_1 وm_2 (قد تكونان نجمين أو كوكبين) مع زيادة المسافة بين مركزيهما وفق المنحنى البسيط الموضح.

حين كنت أدْرس بالجامعة كنت معجبًا بطالبة في نفس عامي الدراسي اسمها ليندسي. لم أكن أراها كثيرًا لأنها كانت تدرس الفن بالأساس وكنت أدرس أنا العلوم والرياضيات، لكننا كنا نلتقي في مكتبة الجامعة من وقت لآخر. ذات مرة كنت منهمكًا في إجراء بعض الحسابات، إنني حتى أذكر عمَّا كانت تدور: إذا ألقيت كرة في الهواء بسرعة معينة وبزاوية محددة، تمكنك قوانين نيوتن من معرفة المسافة التي ستقطعها الكرة في الهواء قبل أن تهبط على الأرض. تخبرنا المعادلة أنه للوصول إلى أبعد مدى ممكن عليك أن تلقي الكرة بزاوية قدرها ٤٥ درجة على المستوى الأفقي. إذا كانت الأرض التي تقف عليها منحدرة إلى أعلى يجب أن تكون الزاوية أكبر، ويعتمد مقدار الكبر على مقدار انحدار الأرض. كنت منهمكًا في

حساب المدى الأبعد على أحد السطوح المائلة حين نظرت لي ليندسي وسألتني عما كنت أفعل. بعد أن شرحت لها الأمر بدت عليها الحيرة والتشكك وسألتني: «كيف يمكنك أن تعرف ما ستفعله الكرة بكتابة بعض الأرقام على قطعة من الورق؟» في ذلك الوقت لم ألق بالًا لسؤالها واعتبرته سخيفًا، فعلى أي حال هذا هو ما تعلمنا فعله! لكن على مر السنين بدأت أرى أن استجابتها العفوية تصف بدقة واحدًا من أعمق ألغاز العلم: لماذا تنعكس الطبيعة في صورة واقع رياضي؟ لماذا تنجح الفيزياء النظرية؟[12]

(٦) كم عدد القوانين الموجودة؟

مع تزايد فهم العلماء أكثر وأكثر لكيفية عمل الطبيعة بدأت تظهر إلى الضوء جميع أنواع القوانين التي لم يكن من السهل التوصل إليها من الملاحظة العرضية للعالم، على غرار القوانين المنظمة للمكونات الداخلية للذرة أو تكوين النجوم. تثير كثرة القوانين سؤالًا آخر تصعب إجابته وهو: كم يبلغ طول قائمة القوانين الكاملة؟ هل تضم عشرة قوانين؟ مائتين؟ هل يمكن أن تمتد القائمة إلى ما لا نهاية؟

ليست جميع القوانين مستقلة بعضها عن بعض، فبعد أن بدأ جاليليو وكبلر ونيوتن وبويل اكتشاف قوانين الفيزياء بوقت قصير وجد العلماء روابط تجمع هذه القوانين. على سبيل المثال، «تفسر» قوانين نيوتن للحركة والجاذبية قوانين كبلر الثلاثة الخاصة بحركة الكواكب، ما يجعلها بشكلٍ ما أعمق وأقوى. أيضًا تفسر قوانين نيوتن للحركة قانون بويل للغازات حين تُطبَّق بطريقة إحصائية على مجموعة ضخمة من الجزيئات المتحركة حركة فوضوية.

خلال الأربعة قرون التي تلت اكتشاف أول قوانين للفيزياء ظهر المزيد والمزيد من القوانين للضوء، واكتُشف المزيد والمزيد من الروابط أيضًا. إن قوانين الكهرباء، على سبيل المثال، وُجِدَ أنها مرتبطة بقوانين المغناطيسية، التي بدورها فسرت قوانين الضوء. هذه العلاقات المتبادلة قادت إلى قدر معين من الارتباك بشأن أي القوانين تعد «أساسية» وأيها مشتق من الأخرى. بدأ علماء الفيزياء في الحديث عن القوانين «الجوهرية» والقوانين «الثانوية»، وما يعنيه ذلك ضمنًا من أن تلك الأخيرة كانت مشتقة لأغراض الملاءمة والتبسيط لا أكثر. في بعض الأحيان يطلق علماء الفيزياء على هذه القوانين اسم «القوانين الفعالة» لتمييزها عن غيرها من القوانين الأصلية

«الجوهرية»، تلك التي يمكن أن تندرج تحتها، على الأقل من ناحية المبدأ، القوانين الفعالة أو الثانوية. وفي هذا الجانب تختلف قوانين الفيزياء اختلافًا كبيرًا عن قوانين المجتمع المدني، التي هي خليط غير منظم من التشريعات المتوسعة دون حدود. كمثال متطرف على هذا الأمر سنجد أن قوانين الضرائب في أغلب البلاد تمتد لملايين الكلمات، لكن على النقيض من ذلك نجد أن «كتاب قواعد الطبيعة العظيم» (على الأقل كما نفهمه حاليًّا) يمكن أن تحتويه صفحة واحدة لا أكثر. إن عملية التبسيط وإعادة الترتيب، الممثلة في العثور على روابط بين القوانين وتقليلها إلى قوانين أكثر جوهرية، تجري بسرعة كبيرة، ومن المغري أن نفكر أنه، في جوهر الأمر كله، لا يوجد سوى حفنة من القوانين الجوهرية «الحقيقية»، بل قد يوجد قانون فائق واحد تُشتَق منه كافة القوانين الأخرى.

بما أن قوانين الفيزياء هي الأساس الذي يقوم عليه البحث العلمي بأسره، من المستغرب ألا تهتم سوى قلة من العلماء بمعرفة ما تعنيه هذه القوانين في الحقيقة. إذا تحدثت إلى علماء الفيزياء فستجد أن أغلبهم يتحدث عن هذه القوانين كما لو كانت أشياء حقيقية، ليست أجسامًا مادية بالطبع، بل علاقات مجردة بين كيانات مادية. إلا أن الأهم من ذلك هو أنها علاقات موجودة بالفعل «في مكان ما» من العالم، وليست فقط في عقولنا.

لأغراض الإيجاز لم أتوخ الحرص الشديد في مصطلحاتي، فإذا قلت لأحد علماء الفيزياء: «أرني قوانين الفيزياء» فسيحيلك إلى مجموعة من المراجع، عن الميكانيكا والجاذبية والكهرومغناطيسية والفيزياء النووية وغيرها. إلا أن السؤال الأكثر ملاءمة هو: هل القوانين الموجودة في الكتب هي بالفعل قوانين الفيزياء أم هي أفضل الاجتهادات بشأنها فقط؟ إن قلة نادرة من علماء الفيزياء هم من يزعمون أن القوانين الموجودة في الكتب اليوم هي في صورتها النهائية؛ إذ إن هذه القوانين على الأرجح هي أقرب ما توصلنا إليه عن القوانين الحقيقية فقط. إلا أن علماء الفيزياء يؤمنون بأنه مع تقدم العلم، ستلتقي القوانين الموجودة في الكتب في قانون واحد مطلق.[13]

(٧) هل القوانين حقيقية؟

هناك حقيقة كامنة في كل هذا، وسوف تصير لها أهمية كبيرة حين أناقش نشأة القوانين. بدأت فكرة القوانين كطريقة لنمذجة الأنماط الموجودة في الطبيعة التي

تربط الأحداث المادية. صار الفيزيائيون على ألفة كبيرة بالقوانين حتى إنه في مرحلة ما باتت القوانين نفسها، وليس الأحداث التي تصفها، ترقى لمرتبة الحقيقة. لقد صارت للقوانين حياة خاصة بها. من العسير على غير العلماء أن يدركوا أهمية هذه الخطوة، لكن من الممكن الاستعانة بمثال من عالم الماليات؛ إن المال الموجود في جيبك يعني عملات نقدية ورقية أو معدنية — أشياء مادية يمكن مبادلتها بالبضائع المادية أو الخدمات — ومع ذلك فإن المال بمفهومه المجرد صار له حياة خاصة به هو الآخر؛ فالمستثمرون يمكن أن يزيد حجم مالهم (أو ينقص في حالتي) حتى دون أن يشتروا أو يبيعوا أشياء مادية. على سبيل المثال، هناك قواعد تحكم تداول العملات المختلفة التي في أحسن الظروف مرتبطة بشكل واهٍ بعملية الشراء الفعلية التي تدور في المتجر المجاور لك. وفي حقيقة الأمر هناك «أموال» أكثر بكثير تدور حول العالم، أغلبها يدور في الفضاء الافتراضي للإنترنت، التي قد لا تتجسد قط على صورة عملات ورقية ومعدنية. وعلى نحو مشابه يقال إن قوانين الفيزياء تسكن عالمًا مجردًا ولا تمس الواقع المادي إلا حين «تعمل». الأمر يبدو كأن القوانين موجودة في حالة انتظار، مستعدة للسيطرة على أي عملية مادية وتجبرها على الانصياع لها، تمامًا مثل قوانين تحويل الأموال الموجودة «في مكانها» حتى حين لا يكون هناك أي تحويل فعلي للأموال. هذه النظرة «الافتراضية» لقوانين الفيزياء التي تقضي بأنها تملك السيطرة على الطبيعة لها منتقدوها (تحديدًا الفلاسفة الذين يفضلون النظرة «الوصفية»).[14] لكن أغلب علماء الفيزياء الذين يعملون على الموضوعات الجوهرية من أنصار الفكرة الأولى، حتى لو لم يقروا بهذا على نحو صريح.

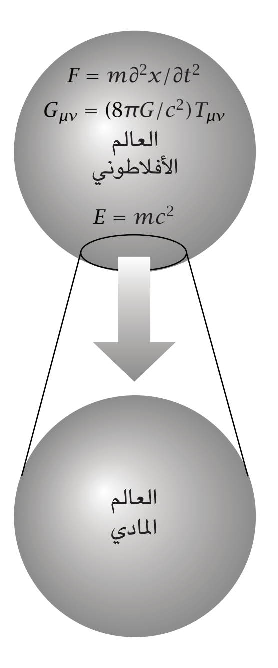
لدينا، إذن، هذه الصورة عن قوانين الفيزياء الموجودة بالفعل في حالة استكانة في مستقرها السامي، وتتحكم في الشئون الدنيا. أحد الأسباب وراء هذا النوع من التفكير بشأن القوانين يتعلق بدور الرياضيات؛ بدأت الأعداد كوسيلة لتصنيف الأشياء المادية وتسجيلها مثل الخَرَز أو الأغنام. ومع تطور علم الرياضيات، وتوسعه فيما وراء الحسابات البسيطة ليشمل الهندسة والجبر والتفاضل والتكامل وغيرها من الفروع، بدأت هذه الكيانات والعلاقات الرياضية في اكتساب وجود مستقل. يؤمن الرياضيون أن عبارات على غرار «٣ × ٥ = ١٥» و«العدد ١١ عدد أولي» هي حقائق فطرية — وذلك بمعنى مطلق عام — دون أن تكون مقصورة على «ثلاثة خراف» أو «إحدى عشرة خرزة».

تفكر أفلاطون في حالة الأجسام الرياضية واختار أن يضع الأعداد والأشكال الهندسية المثالية في عالم مجرد من الصور المثالية. في هذه السماء الأفلاطونية يمكن، مثلًا، العثور على الدوائر المثالية، في مقابل تلك الدوائر التي نقابلها في عالمنا الحقيقي، والتي ستظل دومًا مجرد أشكال تقريبية للدوائر المثالية. يؤمن العديد من علماء الرياضيات المعاصرين بفكر أفلاطون هذا (على الأقل في عطلاتهم الأسبوعية). وهم يؤمنون أن الأجسام الرياضية لها وجود حقيقي لكن ليس في هذا الكون المادي. يرى علماء الفيزياء النظرية، المتشربون بهذا التقليد الأفلاطوني، أيضًا أنه من الطبيعي وضع القوانين الرياضية للفيزياء في عالم أفلاطوني. يوضح الشكل رقم ١-٢ هذه الفكرة، وفي الفصل الأخير سألقي نظرة نقدية على طبيعة القوانين الفيزيائية وأتساءل عما إذا صارت وجهة نظر أفلاطون مجرد ولع غير مرحب به على سبيل فهم الأساس الرياضي للكون.

(٨) وداعًا فكرة التصميم؟

كانت الأديان أولى المحاولات المنهجية لتفسير الكون بصورة شاملة؛ إذ صورت العالم على أنه نتاج عقل أو عقول لكيانات فائقة يمكنها تنظيم الطبيعة أو الإخلال بتنظيمها وفق مشيئتها. في الهندوسية كان براهما هو الخالق وشيفا هو المدمر، وفي اليهودية نجد أن الرب يهوه هو الخالق والمدمر في الوقت ذاته، أما لدى السكان الأصليين في كيمبرلي بأستراليا كان هناك خالقان يعملان معًا في تآزر وهما والانجاندا، الكيان الفضائي الذكوري، الذي ينثر الماء على وانجود، الأفعى المغطاة بالهلام، كي يكونا اليورو يورو، العالم كما نراه.[15] في مثل هذه الأنظمة تُقبل الأشياء على ما هي عليه لأن الإله (أو الآلهة) أرادتها أن تكون على هذا النحو. كرَّست الأديان الكبرى قرونًا عديدة من الدراسة في محاولة لجعل هذه التفسيرات الدينية مقنعة ومتسقة. وحتى في أيامنا هذه يبني الملايين نظرتهم للعالم استنادًا على التفسيرات الدينية للطبيعة.

كان العلم هو ثاني محاولة عظمى لتفسير العالم، لكن في هذه المرة بُنيت التفسيرات على أساس القوى المجردة والعمليات الطبيعية الفيزيائية وليس أنشطة العناصر الفائقة ذات الأغراض. وحين تعارضت التفسيرات العلمية مع التفسيرات الدينية، كان النصر للتفسيرات العلمية. وفي الأغلب الأعم تراجع عمل علماء اللاهوت



شكل ١-٢: **أين تقع قوانين الفيزياء؟** آمن أفلاطون بأن الأجسام الرياضية موجودة بالفعل، وأنها لا تقع في عالم الموجودات المادي بل في عالم مجرد من الأشكال المثالية، يمكن لذوي الذكاء المتقد الولوج إليه. يميل الفيزيائيون النظريون، الذين يعبرون عن قوانين الفيزياء في صورة معادلات رياضية، لاتباع هذا التقليد، وهم يفضلون تصور قوانين الفيزياء على أنها ذات وجود حقيقي، لكنه يسمو فوق الواقع المادي.

كي يركز على الشئون الاجتماعية والأخلاقية، على غرار التنوير الروحي، مرتضين ترك عملية تفسير العالم المادي للعلماء. لا يزال هناك من يؤمنون بأن المطر تصنعه آلهة المطر لا نتاجًا لعمليات تتم في الغلاف الجوي، لكني لا أعتقد أن لهم فرصة نجاح لو دخلوا في مناظرة مع أحد علماء الطقس. فحين يتعلق الأمر بالظواهر المادية الفعلية تكون للتفسيرات العلمية الغلبة. لا يعني هذا أن العلماء نجحوا في تفسير كل شيء، إذ تظل بعض الفجوات الكبيرة باقية؛ على سبيل المثال، لا يعرف العلماء كيف بدأت الحياة، وموضوع الوعي البشري يثير حيرتهم لأبعد حد، وحتى بعض الظواهر المألوفة بشدة، كالدوامات الهوائية، ليست مفهومة بالكامل بعد. بيد أن هذا لا يعني أن علينا اللجوء للسحر أو المعجزات من أجل غلق هذه الفجوات،

بل ما نحتاج إليه هو المزيد من التقدم في الفهم العلمي، وهذا هو الموضوع الذي سأناقشه بالتفصيل في الفصل العاشر.

عندما يتعلق الأمر بالأسئلة الميتافيزيقية على غرار: «لماذا توجد قوانين للطبيعة؟» يصير الموقف أقل وضوحًا، فهذه النوعية من الأسئلة لا تتأثر كثيرًا باكتشافات علمية محددة؛ إذ ظلت أسئلة عديدة كبيرة دون تغيير — منذ مولد الحضارة وإلى يومنا هذا — تثير حيرتنا. إن الأديان على اختلافها أتيحت لها مئات السنوات للتفكر في هذه الأسئلة بحرص، كما أن كبار رجال الدين، أمثال أنسِلم وتوما الإكويني، لم يكونوا أشخاصًا متدينين ضعاف عقول، بل كانوا عتاة مفكري عصورهم.

يعترف العديد من العلماء الذين يجاهدون من أجل الوصول إلى نظرية شاملة تامة للعالم المادي بصراحة بأن ما يحفزهم في مسعاهم هذا هو رغبتهم في نبذ فكرة التصميم — التي يرونها مضللة وخطيرة — نبذًا كليًّا. وهم يهدفون أيضًا للخلاص من أي أفكار جوفاء على غرار «المعنى» أو «الغرض» أو «التصميم». وهم لا يرضون بأي حل وسط، ويرون أن وجهة نظر العلم حيال العالم تتعارض تعارضًا لا يقبل المساومة مع وجهة نظر الدين. ويرون أن النصر حليفهم دون شك بفضل التفوق الفكري للعلم وطريقته المنهجية القوية.

لكن هل الأمر بهذه البساطة؟ حتى في عالم الأديان المنظم قد يعني مفهوم الإله أشياء متعددة لمختلف الأشخاص. من وجهة النظر المسيحية العامة، يصوَر الإله ببساطة على أنه القوة التي أوجدت العالم من العدم، وأنه يتدخل من وقت لآخر بالمعجزات كي يصلح المشكلات. مثل هذه النظرة قد تتعارض مع نظرة العلم للعالم. على النقيض من ذلك نجد أن تصور الإله لدى علماء اللاهوت المتنورين يقارب فكرة المصمم المعماري للكون، الذي يتجسد وجوده من خلال النظام المنطقي للكون، ذلك النظام الذي كشفه العلم. ومن الصعب على العلم أن يتحدى مثل هذه الفكرة عن الإله.

(٩) هل الكون بلا هدف؟

حتى الملحدون من العلماء سيتغنون بالحجم والجلال والتناغم والأناقة والبراعة المطلقة للكون، الذي لا يمثلون منه سوى جزء ضئيل هش. وبينما تتكشف أمام أعيننا تفاصيل الدراما الكونية، يظهر لنا أن هناك ما يشبه الـ «نَص» — خطة

للأمور — يسير تطور الكون وفقًا له. هنا نجد أنفسنا مدفوعين لأن نسأل: من الذي كتب هذا النص؟ أم هل يمكن أن يكون النص، بشكل إعجازي، هو الذي كتب نفسه؟ هل تم الانتهاء من كتابة النص الكوني العظيم بالفعل، أم هل هذه العملية لا تزال متواصلة مع مرور الوقت؟ هل هذه هي الدراما الوحيدة المعروضة أمامنا؟ أم أن كوننا ما هو إلا عرض واحد ضمن عروض كثيرة؟

إن حقيقة التزام الكون بنظام دقيق، وأنه ليس مجرد فوضى من الأحداث العشوائية، تدفعنا للتعجب، سواء تبنينا فكرة التصميم أم لا، عما إذا كان هناك نوع من المعنى أو الغرض له، إلا أن العديد من العلماء يسارعون بإبداء رفضهم عند أدنى إيحاء بذلك الأمر. يقول ريتشارد فاينمان، الذي يعد من أبرع الفيزيائيين النظريين في منتصف القرن العشرين: «إن فهمنا المتزايد لكيفية سلوك العالم المادي يقنعنا وحسب بأن هذا السلوك يتسم بعدم وجود معنى.»[16] يشاركه عالم الفيزياء النظرية والكونيات ستيفن واينبرج الرأي بقوله: «كلما صار العالم مفهومًا بشكل أكبر، بدا خاليًا من المعنى بشكل أكبر.»[17] تعرض واينبرج للنقد الحاد من جانب زملائه بسبب كلماته تلك، ليس لأنها تنكر أن للكون هدفًا، بل لمجرد الإيحاء بأنه قد يكون له هدف.

من المؤكد أن مفاهيم مثل المعنى والغرض هي تصنيفات وضعها البشر، وعلينا التزام الحذر حين نحاول إسقاطها على العالم المادي، إلا أن جميع محاولات وصف الكون وصفًا علميًّا تعتمد على المفاهيم الإنسانية؛ فالعلم يتقدم تحديدًا عن طريق أخذ المفاهيم التي فكر بها البشر، والمستقاة عادة من الخبرات اليومية، ثم تطبيقها على الطبيعة. إن ممارسة العلم تعني محاولة فهم ما يحدث حولنا في العالم، ما «سيتجه إليه» حال الكون، وما «معناه». وإذا لم يكن هناك «معنى» كامن وراءه فلن يكون هناك سبب وجيه يدعونا للبحث العلمي في المقام الأول؛ لأنه لن يكون لدينا أساس منطقي يدعونا للإيمان بأننا بهذه الطريقة يمكننا الكشف عن حقائق إضافية متسقة ذات معنى عن العالم. وعلى هذا يحق لنا قلب مقولة واينبرج ونقول إنه كلما بدا الكون خاليًا من المعنى صار مستعصيًا على الفهم بشكل أكبر. بالطبع من الممكن أن يكون العلماء واهمين في اعتقادهم بأنهم سيعثرون على حقائق منظمة متسقة في عمل الطبيعة؛ إذ قد نكون نحن من يحيك نسيجًا من الأناقة الفكرية المبهرة مما لا يعدو محض تفاهات. وفي نهاية المطاف، قد لا يكون هناك سبب على الإطلاق وراء كون الأشياء على النحو التي هي عليه. إلا أن هذا قد يجعل الكون

خدعة محبوكة بإحكام. هل يمكن لكون عبثي سخيف أن يحاكي بهذه البراعة كونًا ذا معنى؟ هذا هو أكبر أسئلة الوجود التي سنحاول مواجهتها ونحن نستمر في سعينا لاستيضاح حقائق الحياة والكون وكل شيء.

النقاط الأساسية

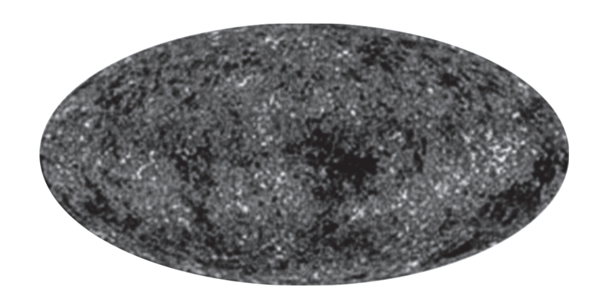
- يهدف العلم الآن للإجابة على العديد من أسئلة الوجود الكبرى.
- من الأسئلة الكبيرة ذلك السؤال الخاص بملاءمة الكون للحياة؛ إذ يبدو وكأن هذا «أمر مقصود».
- يطيع الكون القوانين الرياضية؛ فهي مثل النص الذي تسير وفقه الطبيعة. كي تتفهم هذا الكتاب على النحو الأمثل يجب أن تقتنع بهذه الفكرة.
- قوانين الفيزياء الرياضية هي أساس كل شيء. يرى كثير من علماء الفيزياء أنها حقيقية وأنها تسكن عالمًا أفلاطونيًّا ساميًا.
- يكشف لنا العلم عن وجود نظام متسق للأشياء، إلا أن العلماء لا يفسرون ذلك بالضرورة على أنه دليل على وجود مغزى للكون. أغلب العلماء، لكن ليس جميعهم، إما ملحدون أو لاأدريون.
- من المفترض بي، بصورة ما، أن أشرح كل هذا.

الفصل الثاني

تفسير الكون

(١) الانفجار العظيم والكون المتمدد

من الحكايات المأثورة في جامعة كامبريدج أن عالم الفيزياء النووية إرنست رذرفورد يقال إنه حض أتباعه على نبذ أي تأمل خيالي أو مبالغ فيه حين حذرهم بقوله: «لا تدعوني أمسك بأحدكم وهو يتحدث عن الكون في قسمي.» كان هذا في ثلاثينيات القرن العشرين، وإنصافًا لرذرفورد، لم يكن علم الكونيات موجودًا بعد كعلم له مكانة. وحتى حين كنت أدرس بالجامعة في لندن في الستينيات كان الساخرون يتهكمون بقولهم إن علم الكونيات ليس إلا تخمينًا في تخمين. إلا أنه منذ ذلك الوقت غَيَّرَ التطور الكبير في تصميم التلسكوبات ومعالجة البيانات واستخدام الأقمار الصناعية من وجه علم الكونيات تغييرًا كليًّا. بلغت هذه الفترة من التطور السريع ذروتها في الحادي عشر من فبراير/شباط عام ٢٠٠٣ حين حملت صحف العالم صورة بيضاوية عجيبة الشكل تشبه إحدى لوحات الرسام التجريدي جاكسون بولاك. قدمت لنا هذه الصورة التي لا تثير الإبهار نافذة على الكون لم يسبق لها مثيل، وأدخلت علم الكونيات — دراسة أصل الكون وتطوره ومصيره من المنظور الأعظم للزمان والمكان — إلى القرن الحادي والعشرين. أخيرًا نضج هذا المبحث حتى صار علمًا كميًّا لائقًا. لخصت هذه الصورة النتائج المبدئية الآتية من القمر الصناعي المسمى بمسبار ويلكنسون لقياس اختلاف الموجات الميكرونية Wilkinson Microwave Anisotropy Probe، والمعروف اختصارًا بالأحرف WMAP. وظيفة هذا المسبار هي رسم خريطة للسماء، لا باستخدام الضوء، بل الحرارة؛ أي إنه ينتج خريطة حرارية للكون مفصلة تفصيلًا غير مسبوق. إن الملامح المطبوعة على هذه الصورة هي بقايا عملية مولد الكون، التي حدثت منذ أكثر من ١٣ مليار عام (انظر الشكل ٢-١).



شكل ٢-١: **التوهج المتبقي بعد التكون.** هذه الخريطة الحرارية للسماء والمرسومة من واقع ترددات الموجات الميكروية المقاسة بواسطة المسبار WMAP تقدم لمحة عن الكون بعد حوالي ٣٨٠٠٠٠ عام من الانفجار العظيم. تمثل البقع والنقاط تنويعات طفيفة في درجة الحرارة مطبوعة في الإشعاع حدثت بسبب تفاوت كثافة في الكون المبكر. بدراسة تفاصيل هذه التنويعات يستطيع علماء الكونيات معرفة الكثير عن أصل الكون وتاريخه والمصير المحتمل له، إضافة إلى بنيته وهندسته. المناطق فائقة الكثافة، الممثلة بالبقع الأفتح لونًا، هي «البذور» التي تكونت حولها المجرات. الصورة المعروضة هنا مبنية على بيانات منقحة نشرت في مارس/آذار عام ٢٠٠٦. (بإذن من ناسا/فريق عمل WMAP.)

لم يكن بالإمكان وجود علم للكونيات ما لم يكن هناك «كون» يحتاج للتفسير. وبدلًا من اعتبار الفضاء مليئًا بأجسام متناثرة عديمة القيمة يرى علماء الفلك في الكون وحدة متسقة منظمة. وعلى المستوى الأكبر يتسم الكون بالتنظيم والتطابق؛ فالنجوم والمجرات التي تبعد عنا مليارات السنوات الضوئية تشبه بشدة تلك القريبة منا وموزعة بنفس الصورة تقريبًا في كل مكان، وجميعها تتشابه في بنيتها وحركتها. كما يبدو أن قوانين الفيزياء واحدة حتى في أقصى مكان من الفضاء يمكن لأجهزتنا الوصول إليه. باختصار، هناك نظام كلي متناغم، لا فوضى. وهذه الحقيقة الأساسية مهمة للغاية لوجودنا؛ إذ إنه لم يكن يمكن للحياة أن تنشأ، ناهيك عن أن تتطور إلى مرحلة الذكاء، وسط الفوضى. أيضًا تثير هذه الحقيقة سؤالًا مربكًا، أو هكذا فعلت حتى وقت قريب: لماذا ينبغي على الكون إجمالًا أن يكون على هذا القدر من التنظيم؟ للإجابة على هذا السؤال المثير للاهتمام، علينا أن نفهم كيف بدأ الكون، وكيف تطور عبر مليارات السنين حتى وصل إلى شكله المنظم الحالي المشجع على الحياة.

حين تفكر أسلافنا في السماء تخيلوا أن الشمس والقمر والنجوم تدور حول الأرض. لم يكن حجم الكون معروفًا. وحتى اختراع التلسكوب فشل في الكشف

عن الحجم الحقيقي الهائل للكون، وحتى وقت قريب لم يكن بمقدور علماء الفلك تحديد الأرقام التي يمكن بها قياس هذا الحجم. إن شمسنا واحدة من مئات المليارات من النجوم التي تؤلف مجرة درب التبانة، ومجرة درب التبانة بدورها ما هي إلا واحدة من مئات المليارات من المجرات المتناثرة في أرجاء الفضاء إلى حدود ما تدركه معداتنا. إن الفجوات بين النجوم شاسعة للغاية حتى إن علماء الفلك يقيسونها بالسنوات الضوئية، والمقصود بها المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة. يبلغ طول السنة الضوئية حوالي ستة تريليون ميل، أو ١٠ تريليون كيلومتر. لتصور الأمر تصورًا أفضل نقول إن القمر يبعد عن الأرض حوالي ثانية ضوئية واحدة، وتبعد الشمس عن الأرض أكثر من ثماني دقائق ضوئية بقليل. يبلغ عرض مجرة درب التبانة، التي تعد من المجرات اللولبية التقليدية، حوالي ١٠٠ ألف سنة ضوئية، وتقع مجرة أندروميدا، الجارة القريبة لمجرة درب التبانة، على بعد ٢٫٥ مليون سنة ضوئية منها، فيما تقع أبعد المجرات التي صورها تلسكوب الفضاء هابل على بعد يزيد عن ١٠ مليارات سنة ضوئية. من وجهة نظر البشر الكون شاسع بشكل لا يمكن تخيله.

رغم أن نتائج المسبار WMAP تعد علامة على وصول علم الكونيات لسن الرشد، فإن ميلاد هذا الفرع يعود إلى ثمانين عامًا سابقة، إلى وقت العمل الفذ الذي قام به المحامي الذي تحول لدراسة الفلك إدوين هابل. يُنسب فضل اكتشاف حقيقة تمدد الكون لهابل، مع أن العديد من المشاهدات تمت على يد مساعده فيستو سليفر. درس هابل وسليفر الضوء القادم من المجرات ووجدا أن المجرات الأبعد كانت ذات لون أكثر حمرة. كان من المعروف وقتها أن موجات الضوء الصادرة عن مصدر آخذ في الابتعاد ستكون أكثر تمددًا ومن ثم تنحرف صوب اللون الأحمر الواقع على طرف طيف الضوء (وعلى العكس ينحرف الضوء الصادر عن مصدر آخذ في الاقتراب صوب اللون الأزرق). وجد هابل وسليفر أن هذه الإزاحة نحو اللون الأحمر تزداد كلما بعد موقع المجرة عنا، وأن هذا يحدث بنفس الصورة في جميع الاتجاهات. إن أبسط تفسير لهذه الحقائق، والتفسير الذي أعلنه هابل على العالم، هو أن المجرات تبتعد عنا بنمط تمدد منتظم.

من البديهي إذن — ما دام الكون يتمدد الآن — أن يكون أكثر انضغاطًا في الماضي. باستخدام معدل التمدد المقاس يصير من السهل عرض هذا الفيلم الكوني إلى الخلف (كتدريب نظري!) ومعرفة أنه، منذ مليارات عديدة من السنين، كانت

كل المجرات مضغوطة في مكان واحد. يعني هذا أن الكون، على الأقل بالشكل الذي نعرفه، بدأ بانفجار هائل من حالة ساكنة فائقة الكثافة، وهو الحدث المعروف باسم الانفجار العظيم Big Bang. العجيب أن هذه التسمية أطلقت في البداية بغرض السخرية في الخمسينيات من جانب فريد هويل، الذي لم يقبل قط بهذه النظرية. أما اليوم، مع وجود أدوات المراقبة الدقيقة، على غرار المسبار WMAP وتلسكوب الفضاء هابل، فيمكننا تحديد الوقت الذي وقع فيه هذا الانفجار العظيم، وأفضل تقدير حالي لهذا الوقت هو منذ ١٣٫٧ مليار عام مضت. وبغرض المقارنة نذكر بأن عمر كوكب الأرض هو ٤٫٥٦ مليار عام.

(٢) الوهج المتبقي لمولد التكون

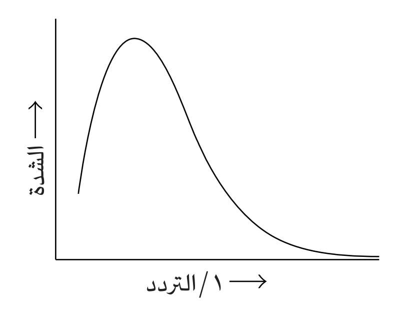
إذا كان الكون في وقتٍ ما ذا كثافة عالية فمن المؤكد أنه كان شديد الحرارة أيضًا؛ نظرًا لأن المواد ترتفع حرارتها عند الضغط وتبرد عند التمدد. لكن المادة ذات الحرارة العالية تطلق إشعاعًا حراريًّا (فكر في الحرارة المنبعثة من الشمس أو الجمر المتقد)، وعلى هذا يمكننا أن نتوقع من الحرارة المتخلفة عن مولد الكون أن تغمر الفضاء في وقتنا الحالي على صورة وهج إشعاعي طفيف. وهذا هو الحال بالفعل. في عام ١٩٦٧ اثنان من مهندسي اللاسلكي — وهما أرنو بينزياس وروبرت ويلسون، اللذان كانا يعملان على اتصالات الأقمار الصناعية في معامل بيل في الولايات المتحدة — عثرا بالصدفة على إشعاع قادم من الفضاء سرعان ما تم التعرف عليه بوصفه أثرًا متبقيًا للانفجار العظيم. كان هذا الاكتشاف نقطة تحول جعلت العلماء ينتبهون لأهمية نظرية الانفجار العظيم. إن هذا الإشعاع موزع بشكل متساو عبر السماء في درجة حرارة[1] تبلغ ٢٫٧٢٥ كلفن، أي حوالي سالب ٢٧٠ مئوية، لذا لا تتوقع أن ترى السماء وهي تتوهج بضوء أحمر باهت. الإشعاع في درجة حرارة كهذه يقع بالأساس في منطقة الموجات الميكرونية على مدرج الطيف الكهرومغناطيسي، ولهذا تُعرف الحرارة المنبعثة من الانفجار العظيم بإشعاع الخلفية الميكروني الكوني Cosmic Microwave Background Radiation، الذي يعرف اختصارًا بإشعاع الخلفية (CMB).

مع أنه من العسير تخيل ما الذي يمكن له، خلافًا لانفجار كوني، أن يُنْتِج إشعاعَ الخلفية هذا، فإن الدليل الدامغ على حدوث الانفجار العظيم ظهر حين

تمكن علماء الفلك من قياس الطيف الدقيق لهذا الإشعاع (انظر الشكل ٢-٢). إذا نظرت إلى جسم متوهج، كشعلة لهب أو نجم، فسترى أنها تطلق الطاقة عبر نطاق من الألوان، أو الأطوال الموجية. وإذا رسمت هذا التوزيع على شكل بياني فستحصل على طيف لها. إن طيف الضوء أو الحرارة المنبعثة من الشمس، أو لهب الشمعة، معقد للغاية، إذ يمتلئ بالقمم والقيعان على الرسم البياني. إلا أن الطيف الخاص بنوع معين من الإشعاع الحراري له شكل بسيط مميز عام؛ ذلك الصادر عن فرن وصلت حرارته الداخلية إلى درجة متجانسة تجانسًا دقيقًا. يطلق علماء الفيزياء على هذا اسم طيف الجسم الأسود، لأن الجسم الذي لا يعكس أي موجات ضوء قط (والذي سيبدو أسود اللون في درجات الحرارة المنخفضة) سيشع الحرارة بهذا التوزيع الخاص من الطاقة عبر مختلف الأطوال الموجية. وعلى وجه الخصوص يملك إشعاع الخلفية طيف الجسم الأسود هذا، وهو ما أكدته مشاهدات المسبار WMAP وغيره من أدوات المراقبة. وفي الحقيقة، يعد إشعاع الخلفية أفضل مثال على طيف الجسم الأسود في العلوم؛ لأن تصنيع جسم أسود على كوكب الأرض، وتوصيله لدرجة حرارة متساوية متجانسة يعد أمرًا مستحيلًا. وبما أن طيف الجسم الأسود يُنتَج من خلال نظام في حالة من التوازن الديناميكي الحراري،[2] يصير معنى إشعاع الخلفية جليًّا: أن مادة الكون المبكر لا بد أنها موزعة بالتساوي عبر الفضاء بنفس الكثافة ودرجة الحرارة في كل مكان. كان طيف الجسم الأسود هو الدليل الدامغ على أن الكون بدأ في حالة من الحرارة والكثافة والتجانس، ومن هذه الحالة تمدد وبرد حتى وصل إلى حالته الحالية.

لقد تغافلت عن جزء مهم من القصة؛ بما أن كوكبنا يدور حول الشمس، والشمس بدورها تدور حول المجرة، والمجرة تسبح وسط جيرانها، فإن الأرض تندفع عبر إشعاع الخلفية بسرعة تبلغ حوالي ٦٠٠ كيلومتر في الثانية. وبسبب هذه الحركة النسبية تبدو السماء أكثر حمرة في الاتجاه الذي نتحرك صوبه عما هو الحال عليه في الجانب المقابل من السماء. لكن عند إسقاط هذا التأثير نجد أن الإشعاع يصير متجانسًا. ولحوالي جزء من كل ١٠٠ ألف جزء، لا يوجد تباين في الإشعاع عبر السماء.

إلا أن علماء الكونيات كانوا يعرفون طوال الوقت أنه ليس بالإمكان أن يكون إشعاع الخلفية موزعًا بتجانس «تام» عبر الكون كله، وذلك لأن الكون نفسه ليس موزعًا بتجانس تام؛ فالمادة تتجمع على صورة مجرات، والمجرات بدورها مرتبة على



شكل ٢-٢: **طيف الجسم الأسود.** يبين المنحنى، المبني على القياسات المأخوذة من المسبار WMAP كيف أن الطاقة الحرارية المتخلفة عن الانفجار العظيم موزعة عبر نطاق من الأطوال الموجية. شكل هذا المنحنى مميز، ويماثل تمامًا طيف الإشعاع الناتج عن نظام له درجة حرارة متماثلة. هذا يعني أن إشعاع الخلفية الكوني نشأ من حالة من التوازن الديناميكي الحراري في الماضي. تتناسب المشاهدات مع النظرية تناسبًا دقيقًا حتى إن أخطاء القياس أصغر من سمك الخط المرسوم في الشكل. (بإذن من ناسا.)

صورة عناقيد مَجَرّية وعناقيد مجرية فائقة. تكشف لنا خرائط توزيع المجرات، التي وضعها بعناء علماء الفلك مستخدمين التلسكوبات البصرية عبر العشرين عامًا الماضية، عن وجود تكتلات من جميع الأحجام، ربما باستثناء الهائلة منها. وعند أخذ متوسط لكل مليار سنة ضوئية يبدو الكون متماثلًا في كل مكان، لكن على نطاق كل مائة مليون سنة ضوئية أو أقل يكون الأمر مختلفًا؛ إذ تبرز تجمعات للمجرات بشكل واضح. إذا كان الكون المبكر مكونًا من غاز موزع بتساوٍ تام، فلم يكن بالإمكان ظهور مثل هذه التركيبة. لكن مع الوقت، حتى أصغر مواطن الشذوذ في الغاز الأصلي كانت ستتضخم تضخمًا هائلًا بفعل تأثير الجاذبية. إن أي منطقة كانت أكثر كثافة — ولو بشكل ضئيل في بداية الكون — كانت ستجذب إليها المادة من المناطق المجاورة لها، وبهذا تزيد من كتلتها بشكل أكبر، وتسرع من عملية تعاظمها. كان من شأن الانفجار الداخلي البطيء للغازات الأولية إلى كتل أن يتحول إلى انهيار كارثي لولا حقيقة أن الكون يتمدد، وهو ما يعمل على تخفيف الغاز ويعادل آثار الميل نحو التجمع. تشير الحسابات التي أجريت على هذه الآثار المتعارضة إلى أنه من أجل تكوين مجرات موزعة على النحو الذي نرصده، لا بد أن يكون الكون قد بدأ بتفاوت في الكثافة يبلغ جزءًا واحدًا في كل ١٠٠ ألف جزء. ولأن الغاز الأكثر كثافة يكون مضغوطًا بشكل أكبر تكون حرارته

أعلى، وبهذا يُترجم التفاوت في الكثافة إلى تفاوت في درجة الحرارة. وعلى هذا، إذا صحت نظرية الانفجار العظيم فلا بد أن يكون تفاوت الحرارة في الكون المبكر طفيفًا للغاية، وهو بالضبط ما وجده المسبار WMAP.

وعلى هذا تصير القصة على النحو الآتي: بدأ الكون منذ حوالي ١٣,٧ مليار عام بانفجار عظيم. كان الكون في بداياته غازًا متمددًا يتسم بارتفاع هائل في الكثافة، ودرجة الحرارة، والتأين،[3] والإعتام، ومغمور بالإشعاع الحراري. توزع الغاز في أرجاء الكون بتجانس شبه مثالي. بعد الانفجار العظيم بحوالي ٣٨٠ ألف عام هدأت حرارة الكون بمقدار بضع آلاف من الدرجات، وعند هذه النقطة توقف الغاز عن التأين (أي إن النويات والإلكترونات اتحدت لتصير ذرات) ونتيجة لذلك صار شفافًا. ومنذ ذلك الحين فصاعدًا ظل الإشعاع الحراري غير متأثر بمروره عبر المادة، ومنذئذٍ وهو يسافر بحرية في أرجاء الكون.[4] لذا، حين ينظر علماء الفلك إلى إشعاع الخلفية فهم في واقع الأمر ينظرون إلى الكون بعد حدوث الانفجار العظيم بحوالي ٣٨٠ ألف عام. وبناء على ذلك يمدنا إشعاع الخلفية بلمحة عن الكون حين كان عمره أقل من ٠,٠٠٣ بالمائة من عمره الحالي. إن التفاوتات الدقيقة في درجات الحرارة التي اكتشفها المسبار WMAP تمثل بذور البنية الكونية التي من دونها لم تكن ستوجد المجرات أو النجوم أو الكواكب أو حتى علماء الفلك. هذه إذن حقيقة أخرى من الحقائق «الملائمة» التي تجعل الكون مناسبًا لظهور الحياة، وحقيقة أخرى تحتاج لتفسير.

(٣) أين يقع مركز الكون؟

من التوصيفات الشائعة للانفجار العظيم أنه تفجير لكرة مصمتة من المادة الموجودة في حيز من الفراغ، مع تشبيه المجرات بالشظايا المتناثرة بعيدًا عن مركز الانفجار. ربما تكون هذه الصورة سهلة الفهم، إلا أنها مضللة ومحيرة بدرجة كبيرة؛ إذ إنه من المحتم أن ينتهي الناس إلى التساؤل: «أين يقع مركز الكون؟» تحمل رسالة البريد الإلكتروني التالية التي وصلتني حديثًا نفس هذه الفكرة المألوفة:

> هل تم التوصل إلى الدليل على تمدد الكون من خلال النظر بعيدًا عن مركز التمدد (الانفجار العظيم) أم بالنظر إلى المركز، أم من أي اتجاه

آخر؟ أعتقد أن النتائج قد تبين أن المجرات تبتعد عن مركز التمدد وبعضها يبتعد عن بعض بسرعات متباينة.[5]

إذا كان الانفجار العظيم هو انفجار لكرة من المادة، ستقع إذن بعض المجرات في أعماق ذلك المعترك، محاطة من جميع الجوانب، وستقع أخرى بالقرب من طرف هذا الحشد. لو افترضنا حدوث ذلك، وتصورنا المشهد من جانب مجرة قُذف بها بعيدًا سنجد أننا من أحد الجوانب سنواجه مركز الكون، وعلى الجانب المقابل سنواجه الفضاء الخاوي. ستبدو السماء متباينة الشكل بدرجة كبيرة اعتمادًا على الجهة التي ينظر ناحيتها المراقب. إلا أن هذا بكل تأكيد ليس ما نراه من كوكب الأرض؛ إذ يبدو الكون بنفس الصورة تمامًا من مختلف الاتجاهات. وبالقدر الذي تستطيع تلسكوباتنا الوصول إليه، والبالغ حوالي ١٣ مليار سنة ضوئية، أي ما يغطي حوالي ١٠٠ مليار مجرة، تتوزع المادة بشكل متساو (أو على نحو أكثر دقة تتوزع عناقيد المجرات على نحو متساو). لا يوجد دليل على أي تجمع حول ما يشبه المركز أو، على النقيض، أي ضعف في الكثافة ناحية طرف ما.

كيف، إذن، ينبغي علينا وصف الانفجار العظيم والكون المتمدد، في ضوء الحقائق التي حصلنا عليها من مشاهداتنا؟ افترض أن الكون تجمد على النحو الذي هو عليه اليوم، مع توزع المجرات بشكل متساو عبر الفضاء (في المتوسط). والآن تخيل أننا بدأنا في عرض الفيلم الكوني، مشاهدين الكون وهو يتمدد. إذا نظرنا للكون من منظور خارجي فلن نجد أي انسياب منظم للمجرات بعيدًا عن أي نقطة بعينها، بل سنجد أن عناقيد المجرات تبتعد بعضها عن بعض بنفس المعدل. وفي كل مكان تنظر إليه ستجد أن الفجوات بين عناقيد المجرات تزداد في الحجم، وأن المزيد والمزيد من الفضاء يحيط بالمجرات مع مرور الوقت. قد يبدو للمراقب الموجود في أي مجرة أنه يقع في مركز نمط معين من التمدد؛ لأن جميع المجرات الأخرى تبتعد عنه، إلا أنها تبتعد أيضًا بعضها عن بعض، ولهذا يكون انطباع المراقب بأنه يقع في مركز الكون ليس إلا وهمًا. لا يوجد مركز للكون من الأساس. ولهذا السبب ربما تعد مصطلحات «الانفجار» و«الانفجار العظيم» غير ملائمة، إلا أننا ملتزمون باستخدامها في الوقت الراهن.

يؤكد إشعاع الخلفية فكرة عدم وجود المركز أو الحواف هذه، فإذا حدث الانفجار الكبير في أي نقطة من الفضاء فسيتوهج هذا الجزء من السماء بفعل

الإشعاع المبدئي، لكن الجزء الآخر من السماء الذي يواجه الجانب المعاكس من المركز ناحية الفراغ، سيكون باردًا. إلا أن الواقع، كما شرحت، هو أن إشعاع الخلفية ثابت ومتسق عبر السماء، مع معادلة أي تفاوت بسيط في درجة الحرارة، وعليه لا يوجد ما يشير إلى أن جزءًا ما من السماء كان أكثر حرارة من الجزء المقابل له.

(٤) الفضاء المتمدد

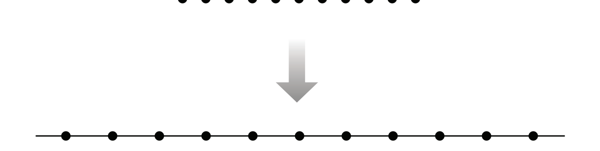
عانى علماء الكونيات كثيرًا كي يجدوا الطريقة التي يصفون بها الكون المتمدد بلغة بسيطة. وإليك بعض المحاولات الشائعة:

> الفضاء «موجود في» الكون وليس الكون هو الموجود في الفضاء.
> حدث الانفجار العظيم في كل مكان، وليس في نقطة محددة في الفضاء.
> كان الانفجار العظيم انفجارًا «للفضاء»، لا انفجارًا «في» الفضاء.

يمكن الاستعانة بتشبيه بسيط كي يساعدنا على الفهم وذلك بتخيل خيط طويل من المطاط مربوط به بعض الخرز على مسافات منتظمة (انظر الشكل ٢-٣). حين يتمدد الخيط، تبتعد الخرزات بعضها عن بعض. وحين يزداد ابتعاد كل خرزة عن جارتها سيكون المنظر من كل خرزة هو أن الخرزات الأخرى تبتعد عنها. إلا أن كل الخرز متساوٍ، ولا توجد خرزة مركزية.

سيكون التشبيه أفضل لو تخيلنا الفضاء نفسه على أنه مرن وقادر على التمدد. في حقيقة الأمر إن فكرة كون الفضاء مرنًا ليست تشبيهًا بليغًا فقط، بل هي تُقارب ما يعتقد علماء الفيزياء أنه الحقيقة بالفعل. إن قابلية الفضاء للتمدد، إضافة إلى الانحناء والطي، هي الأساس الذي بنيت عليه نظرية النسبية العامة لأينشتاين. وإذا نظرنا للفضاء على هذا النحو فسنجد أن تمدد الفضاء لا يعني بالأساس تحرك المجرات عبر الفضاء بقدر ما هو تمدد أو تضخم للفضاء بينها، وهي الصورة التي تقودنا لوصف آخر شهير:

> يشبه الكون المتمدد الرغيف الذي ينتفخ وهو موضوع في الفرن، حيث تلعب حبات الزبيب دور المجرات بينما يمثل العجين الفضاء.



شكل ٢-٣: **الكون المتمدد.** في هذا التمثيل أحادي البُعد، يشبَّه الكون المتمدد بخيط مطاطي (يرمز للفضاء) مربوط فيه خرزات (تمثل المجرات) على مسافات متساوية. مع تمدد الخيط، تبتعد كل خرزة عن الخرزات الأخرى، ويكون المشهد من منظور أي خرزة واحدًا؛ إذ تبتعد عنها الخرزات الأخرى بسرعات تتناسب مع المسافة بينها. وما دمنا نعجز عن رؤية أي من طرفي الخيط، تبدو جميع الخرزات متساوية؛ فلا يوجد مركز أو طرف ظاهر من خلال توزيع الحركة أو نمطها.

سيلاحظ القارئ اليقظ خطأً في تشبيه الخيط المطاطي؛ لأن الخطوط المطاطية الحقيقية ذات طول محدد، لذا من المحتم أن تكون هناك خرزات في الطرف وأخرى قرب المركز. إلا أن المغزى هنا هو أنه لو كانت الخرزات وفيرة العدد على نحو هائل (لنقل مليارات ومليارات) وإذا كانت الرؤية من أي خرزة لا تصل لنهاية الخيط، عندئذٍ لن يكون هناك ما يشير إلى مركز أو طرف في ترتيب الخرزات وسط جيرانها. لكن هذا الخطأ يثير السؤال البديهي عما إذا كان، في الكون الحقيقي، السبب في عدم وجود مركز أو طرف ظاهر هو أن تلسكوباتنا ليست قوية بما يكفي لكي تصل لهذا البُعد. وقد يكون هذا هو الواقع بالفعل. فربما يكون الكون القابل للرصد مدفونًا تحت كومة من المجرات التي، إذا نُظر إليها من منظور أعم، لها طرف نهائي بالفعل. (وقد لا يكون له مركز واضح، إلا إذا كان تجمع المجرات هذا على شكل كروي.) وإذا كان الطرف بعيدًا للغاية فلن يكون عدم تكافؤ توزيع الإشعاع الحراري ظاهرًا؛ لأنه لن يكون قد مضى وقت كاف منذ الانفجار العظيم كي يصل إلينا الإشعاع الحراري المتضائل، الذي يسافر بسرعة الضوء، من طرف الكون.

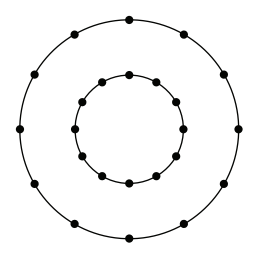
من ناحية أخرى قد لا يبدو الكون بهذا الشكل على الإطلاق؛ إذ قد يكون غير محدود من جميع الاتجاهات. أذكر جيدًا، حين كنت في الثامنة من عمري تقريبًا، أنني سألت والدي عن أين ينتهي الفضاء. أجابني والدي بأنه من غير الممكن أن يكون للفضاء نهاية، لأنه لو كان له نهاية فسيثير هذا التساؤل عما يقع وراء أبعد نقطة فيه. هذا سبب معروف، لكن كما سأشرح قد يكون خاطئًا. في حقيقة

الأمر، لا يوجد سبب منطقي يمنع الفضاء من أن يكون غير محدود ومسكونًا بالمجرات في كل مكان فيه. سيحوي الفضاء وقتها عددًا لامتناهيًا من المجرات، الموزعة توزيعًا متساويًا على صورة تجمعات — كما رأينا — تتمدد عبر الفضاء اللامتناهي إلى ما لا نهاية. وفي هذه الحالة تكون أبسط الافتراضات وأكثرها بداهة أن مشهد الكون سيكون واحدًا، من أي مكان. وفي المناقشات المعنية ببنية الكون يشار لافتراض الاتساق هذا باسم «المبدأ الكوني». وهذا المبدأ تطبيق لمبدأ آخر أكثر عمومية يسمى «مبدأ عدم التميز»، الذي يعني أنه لا يوجد شيء مميز أو سمة خاصة يتفرد بها موقعنا في الكون.

ومع أن هذا قد يربكك، فإنه يجب أن أقول إن المبدأ الكوني لا يعني بالضرورة وجود كون لانهائي؛ فمن الممكن أن يكون الكون محدد الحجم دون أن يكون له مركز أو طرف. يمكن امتلاك هذه السمات المتناقضة من الظاهر إذا تخيلنا أن الفضاء يمكن أن ينحني حول ذاته. سأشرح هذه الفكرة بالعودة لمثال الشريط المطاطي: افترض أن الشريط كان في حقيقته شريطًا مطاطيًّا دائريًّا عملاقًا، يمتد لقطر أكبر وأكبر (انظر الشكل ٢-٤)، والخرزات مربوطة به على مسافات متساوية. لا توجد هنا أي خرزة مركزية أو أخرى تقع قرب الطرف، بل جميع الخرزات متساوية بشكل تام، ومع ذلك تتحرك جميع الخرزات بعيدًا بعضها عن بعض مع تمدد الشريط المطاطي. هذا مثال على كون متناهٍ غير محدود في الوقت ذاته من الخرزات، والذي يصير ممكنًا لو سمحنا «للفضاء» المطاطي بأن ينغلق على نفسه على شكل دائرة. بعد قليل سأشرح كيف يمكن للفضاء الحقيقي ثلاثي الأبعاد أن يكون منغلقًا بهذا الشكل. لكن هناك موضوعًا أكثر أهمية يحتاج للشرح أولًا:

(٥) سرعة الضوء والمشهد من كوكب الأرض

حين يمعن علماء الفلك النظر في السماء بتلسكوباتهم فهم يرون الأجرام البعيدة لا كما هي عليه الآن، بل كما كانت عليه حين غادرها الضوء الذي يصل إلى تلسكوباتهم عابرًا الفضاء. ومن هذا المنطلق يكون التلسكوب «نافذة زمنية». على سبيل المثال، إذا انفجر نجم قريب منا بالأمس فسنظل غير عالمين بتلك الكارثة لسنوات؛ حتى يصل إلينا الضوء الذي يعرفنا بانفجار النجم إلى كوكب الأرض.



شكل ٢-٤: **الفضاء المغلق.** من الممكن للفضاء ثلاثي الأبعاد أن يكون مغلقًا. يبين تشبيه الشريط المطاطي أحادي البعد هذا سمة انغلاق الفضاء، دون وجود مركز أو طرف (بمعنى عدم وجود مركز أو طرف في أي مكان من الشريط). ومع تمدد «الكون» يتمدد الشريط المطاطي إلى قطر أكبر، دون الإخلال بخاصية عدم وجود المركز أو الطرف.

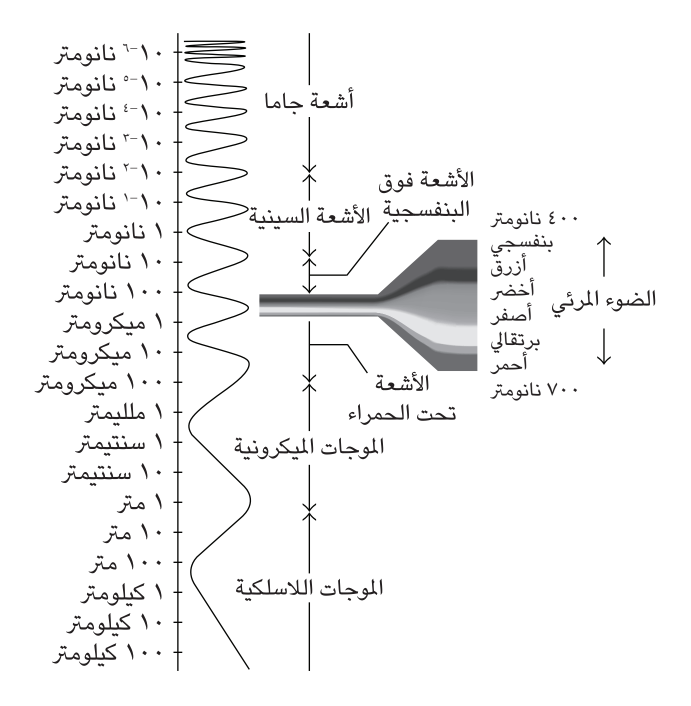
بالنظر أبعد من ذلك، فإننا نرى النجوم الموجودة في مجرة أندروميدا كما كانت عليه منذ ٢٫٥ مليون عام. وبالتبعية تبدو المجرات الأبعد أكبر عمرًا. يسجل تلسكوب الفضاء هابل بطريقة روتينية صور المجرات كما كانت عليه قبل حتى تواجد كوكب الأرض. ومن الممكن بالفعل رؤية أكبر المجرات عمرًا وهي لا تزال في مرحلة التكون، أي منذ أكثر من ١٢ مليار عام مضت. وهكذا، بالتوغل أكثر وأكثر في الفضاء، يستطيع علماء الفلك مشاهدة تاريخ الكون وهو يمضي بشكل عكسي. قد تكون سرعة الضوء كبيرة، إلا أنها في نهاية المطاف محدودة، وهي حقيقة لها تبعات مهمة للغاية على طبيعة الكون، كما سنرى الآن.

بينما يجتاز الضوء الكون المتمدد يزيد الطول الموجي له مع تمدد الكون. ولأن أطوال الضوء الموجية الكبيرة تبدو أكثر احمرارًا، يشار لهذا التأثير باسم «الإزاحة الحمراء» Red Shift. إن حقيقة ظهور المجرات الأبعد بلون أكثر حمرة من المجرات الأقرب هي التي نبهت إدوين هابل في عشرينيات القرن العشرين لفكرة تمدد الكون. وهو نفس التأثير الذي يتسبب في برودة إشعاع الخلفية الكوني الحراري.

يعتمد مقدار الإزاحة الحمراء على وقت انبعاث الضوء (ومن ثم مقدار بعد مصدره). بالعودة للخلف صوب الانفجار الكبير تصير الإزاحة الحمراء أكبر وأكبر. ومن الشائع في أيامنا هذه أن نرى صورًا لمجرات (أو كويزرات، وهي القلوب المحمومة لبعض المجرات المضطربة بعنف) امتد الطول الموجي لضوئها بمقدار

ضعفين أو ثلاثة أضعاف طولها الموجي الأساسي، وهو ما يشير إلى أن المسافة بيننا وبين تلك المجرات قد زادت بقدر كبير عبر الوقت الذي استغرقه الضوء في الوصول إلينا. وبالتوغل للوراء أكثر في الزمن (وفي الفضاء) سنصل إلى الحقبة التي انبعث فيها إشعاع الخلفية. كانت درجة الحرارة في هذا الوقت حوالي ٣٠٠٠ درجة كلفينية، وهي درجة حارة بقدر كافٍ لجعل الإشعاع في النطاق فوق البنفسجي من الطيف الكهرومغناطيسي (انظر الشكل ٢-٥). يترافق هذا مع معدل إزاحة حمراء يبلغ ١١٠٠، وهو قدر كبير من الإزاحة بما يكفي لزيادة الطول الموجي بداية من نطاق الأشعة فوق البنفسجية، مرورًا بالضوء المنظور والأشعة تحت الحمراء، وصولًا إلى نطاق الموجات الميكرونية على الطيف. وهكذا فإن ما انبعث بوصفه إشعاعًا (حارًّا) فوق بنفسجي يبدو لنا اليوم موجات ميكرونية (أبرد) بسبب العامل الهائل الذي تمدد الكون بموجبه في الفترة الوسيطة.

كما ذكرت من قبل فإن إشعاع الخلفية سافر صوب الأرض دون التعرض لأي إعاقة تقريبًا، وذلك منذ ٣٨٠ ألف عام بعد حدوث الانفجار العظيم. قبل ذلك الوقت كانت الحرارة مرتفعة للغاية حتى إن الذرات لم تكن موجودة، وذلك لأن الحرارة الفائقة كانت تتسبب في نزع الإلكترونات عن أنوية الذرات؛ أي إن الذرات كانت في حالة تأين. يشير علماء الفيزياء إلى الغازات في هذه الحالة باسم البلازما. تشتت البلازما الضوء بقوة، لذا فهي معتمة، ولهذا السبب نعجز، مثلًا، عن رؤية ما بداخل الشمس خلف الوهج السطحي. ولهذا، حين يستكشف المسبار WMAP إشعاع الخلفية الكوني، فإنه بالتبعية ينظر إلى الماضي بقدر ما تمكنه الموجات الكهرومغناطيسية.[6] ليس بمقدور أي تلسكوب عادي أو هوائي للموجات الميكرونية، مهما بلغت قوته، أن يخترق ذلك الضباب المتوهج خلفه. ومع ذلك، يمكننا التظاهر بأن الغاز ليس موجودًا ويمكننا حساب المقدار الذي من الممكن أن تكون الإزاحة الحمراء عليه في أوقات ماضية لو أننا كنا نتمتع بنظرة نافذة. بعد عشر ثوانٍ من الانفجار العظيم ستبلغ الإزاحة الحمراء حوالي المليار، ويبلغ قدرها بعد ثانية واحدة حوالي الثلاثة مليارات. يرتفع مقدار الإزاحة الحمراء دون حدود مع الاقتراب من لحظة ميلاد الكون. ولو حدث، بصورة سحرية، أن وصل ضوء مرئي بعد واحد على الألف من الثانية من الانفجار العظيم إلى كوكب الأرض اليوم، فسيتعرض طوله الموجي لإزاحة حمراء عظيمة حتى إننا سنتلقاه على صورة موجة لاسلكية ذات طول موجي كبير جدًّا.



شكل ٢-٥: **الطيف الكهرومغناطيسي.** للموجات الكهرومغناطيسية أطوال موجية متباينة. ومع أنها تنتمي لنفس الظاهرة فإن الاسم الذي يُعطى لكل منها يعتمد على الطول الموجي، والمبين هنا بوحدات تتراوح من النانومتر إلى الميكرومتر إلى الكيلومتر. تتسبب الإزاحة الحمراء التي تحدث بسبب تمدد الكون في إطالة الطول الموجي للأشعة المنبعثة في النطاق فوق البنفسجي على الطيف بعد ٣٨٠ ألف عام من حدوث الانفجار العظيم إلى نطاق الأشعة الميكرونية بحلول وقت وصولها إلينا.

(٦) هناك أفق في الفضاء لا يمكننا النظر خلفه

إلى أي مدى يمكننا الرجوع بالزمن إلى الوراء بالاستعانة بالإزاحة الحمراء؟ فإذا كانت لحظة الانفجار العظيم مرتبطة بحالة من الانضغاط اللانهائي (سأناقش هذا بمزيد من التفصيل)، عندئذٍ سترتفع الإزاحة الحمراء دون حدود كلما انبعث الضوء من لحظات أبعد وأبعد من الماضي. وعلى هذا يتحلى الضوء الصادر عن الانفجار العظيم نفسه بإزاحة حمراء لانهائية، هذا إذا كان من الممكن وصوله إلينا بالطبع. تعني الإزاحة الحمراء اللانهائية أننا في الحقيقة لن نرى شيئًا على

الإطلاق؛ أي إن الإشعاع لن يحمل لنا أي معلومات. هذا، كما هو واضح، يعد حدًّا فاصلًا؛ إذ لن يمكننا قط النظر خلف هذه النقطة في الفضاء أو هذه اللحظة من الزمن. يشير علماء الكونيات لهذا الحد باسم «الأفق». إن لحظة الانفجار العظيم، وفق هذه الصورة البسيطة المرسومة على نحو مثالي، هي أفق الفضاء الذي لا يمكننا رؤية أي شيء وراءه، حتى بشكل نظري، مهما بلغت قوة معدات الرصد لدينا (حتى مع تجاهل معدل إعتام المادة). من طرق التعبير عن هذا الحد الإشارة إلى أنه خلال الـ ١٣,٧ مليار سنة التي انقضت منذ الانفجار العظيم، يمكن أن يكون الضوء قد سافر لفترة ١٣,٧ مليار عام على الأكثر، ولهذا ليس من قبيل المفاجأة أننا نعجز عن رؤية أبعد من هذا القدر. إلا أن مثل هذه العبارات يجب التعامل معها بحذر؛ فحين نرصد مجرة تبعد عنا ١٣ مليار سنة ضوئية، فنحن نراها في المكان الذي كانت فيه منذ ١٣ مليار عام. لكن اليوم، ستكون هذه المجرة أبعد في المسافة بكثير عنا، لأن الكون تمدد تمددًا كبيرًا خلال هذا الوقت الفاصل. وعلى هذا تعتمد المسافة بيننا وبين المجرة على ما إذا كنا نتحدث عن المسافة الماضية (أي المسافة إلى المكان الذي «كانت» المجرة فيه لحظة إطلاق الضوء في الماضي) أم المسافة الحالية. إن أبعد المجرات التي يمكن رؤيتها باستخدام تلسكوب الفضاء هابل تقع «الآن» على مسافة حوالي ٢٨ مليار سنة ضوئية من الأرض.[7]

في هذه النقطة من النقاش عادة ما يطفو على السطح قدر من الارتباك. إذ يتساءل الناس: إذا كان الكون قد بدأ وهو منكمش للغاية في الحجم فلماذا كان علينا الانتظار كل تلك السنوات كي يصل الضوء إلينا من بقاع الكون التي كانت، في الماضي السحيق، أقرب من هذا بكثير؟ لماذا لم يقطع الضوء الصادر عن هذه المناطق الكون المضغوط بسرعة بحيث يصل إلينا منذ زمن بعيد؟ تكمن إجابة هذا السؤال في «معدل» تمدد الكون، فالضوء وهو يسافر عبر الكون يسرع صوب مجرات تتباعد تباعدًا متزايدًا عن مصدر الضوء. يمكن التعبير عن الأمر بصورة مختلفة بأن نقول إنه حتى إذا كان الضوء يقطع الفضاء فإن الفضاء نفسه يتمدد أمامه، وعلى هذا تشبه دفقة الضوء العداء الذي يجري على مشاية الجري. وتكون نتيجة ذلك أن رحلة الضوء تزيد تزايدًا كبيرًا.

للأفق وظيفة أخرى إلى جانب الحد من نظرتنا إلى الكون، فمن المبادئ الأساسية التي تقوم عليها نظرية النسبية أنه لا يمكن لجسم أو تأثير فيزيائي أن

يتجاوز سرعة الضوء (انظر الإطار ١). وعلى هذا فإن الحدث الذي يقع ما وراء الأفق لا تستحيل رؤيته وحسب، بل يستحيل عليه أيضًا بذل أي تأثير فيزيائي علينا في هذا الوقت، والعكس بالعكس. وكما سنرى فإن هذا القيد على عمل نظرية السببية سيكون عاملًا مهمًّا في محاولاتنا لفهم تركيبة الكون.

إطار ١: لماذا يعد الضوء حد السرعة الأقصى في الكون؟

لماذا لا يستطيع شيء التحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء؟ من سبل الإجابة على هذا السؤال التساؤل عما سيحدث لو أننا حاولنا جعل أحد الأجسام المادية يكسر حاجز الضوء. يمكن إجراء مثل هذه التجربة على الجسيمات دون الذرية المشحونة كالإلكترونات، والتي يمكن حثها إلى سرعات تقترب من سرعة الضوء.

وفق نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، المنشورة عام ١٩٠٥، فإن كتلة الجسم تعتمد على سرعته. هذه نتيجة مباشرة لمعادلة: «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» $E = mc^2$. يرتبط بالحركة نوع من الطاقة (يسمى الطاقة الحركية)، وتخبرنا المعادلة بأن الطاقة لها كتلة. ولأن الجسم المتحرك تكون طاقته أكبر من الجسم الساكن، تكون بالتبعية كتلته أكبر. في السرعات العادية لا نلحظ أن الجسم المتحرك يكون أثقل من الجسم الساكن، والعامل (مربع سرعة الضوء) في المعادلة يعني أن الطاقة الحركية التي نقابلها في السرعات العادية لا تزيد من كتلة الجسم إلا بقدر ضئيل للغاية. إلا أنه في السرعات القريبة من سرعة الضوء تضاهي كتلة الطاقة الحركية كتلة الجسم عند السكون. عند ٨٧ بالمائة من سرعة الضوء يكون للطاقة الحركية وزن أكبر من الكتلة عند السكون. ومع سرعات أكبر تبدأ الكتلة الكلية في التصاعد. وبعد ذلك يحدث تناقص في معدل الزيادة؛ فالمزيد والمزيد من الجهد المبذول في محاولة تسريع الجسم يجعله أثقل وزنًا، ومن ثم يقل معدل التسارع أكثر وأكثر. ومع الاقتراب من سرعة الضوء ترتفع كتلة الجسم دون حدود، مما يجعل من المستحيل عليه زيادة سرعته، ولهذا السبب من المستحيل كسر حاجز الضوء.

والآن لنتحدث ببعض المصطلحات الفنية: يطلق على كتلة الجسم في سكونه مصطلح «كتلة السكون»، أما الكتلة الكلية للجسم المتحرك فيطلق عليها «الكتلة النسبية»، وهي تتكون من كتلة السكون إضافة إلى الكتلة المرتبطة بطاقة حركته. حين يشير علماء الفيزياء إلى «كتلة» الجسم، فإنهم عادة يعنون كتلة السكون. يقال إن الفوتون له كتلة سكون قدرها صفر، لكن من المستحيل أن يكون في سكون قط؛ إذ إنه يتحرك على الدوام بسرعة الضوء، وبالتأكيد له كتلة نسبية لا تساوي صفرًا (بما يتناسب مع تردده في الحقيقة).

إن عبارة «لا شيء يمكنه التحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء» هي في الواقع مضللة بعض الشيء. تمنع النسبية الخاصة أي جسم مادي من تجاوز أي جسم آخر في سرعة تفوق سرعة

الضوء، لكن النسبية الخاصة هي جزء محدود من نظرية النسبية العامة التي تأخذ عامل الجاذبية في الاعتبار وتسمح بأمور على غرار تمدد الفضاء. في هذه الظروف يمكن التجاوز عن فكرة «عدم تجاوز سرعة الضوء». إن المجرات البعيدة، على سبيل المثال، يمكن أن تبتعد عنا بالفعل بسرعة تفوق سرعة الضوء. وهذا لا يتعارض مع القاعدة إذا طُبقت في إطار النسبية الخاصة، وهي تشير إلى موقف محدد المكان وليس إلى الحركة الشاملة في الكون بأسره.

(٧) تعريفات «الكون» المختلفة

يضيف وجود الأفق الضوئي قدرًا كبيرًا من التشوش على ما نعنيه بكلمة «الكون». ومما يؤسف له أن بعض المؤلفين يقدمون هذا المفهوم بشكل غامض، لكني أود أن أكون أكثر دقة. لذا إليك التعريفات المختلفة للكون.

(٧-١) الكون المرصود

هذا هو كل ما تستطيع معداتنا رصده من الفضاء وما يحتويه في الوقت الحالي. منذ قرن مضى، كان الكون المرصود يتكون من مجرتنا والمجرات القريبة منها، لكن مع تطوير تلسكوبات أكبر صار بمقدور علماء الفلك رؤية كل ما يحويه الكون تقريبًا حتى الأفق. وفي أيامنا هذه يتفق تعريف الكون المرصود مع التعريف التالي للكون.

(٧-٢) الكون القابل للرصد

وضعًا في الاعتبار أننا نعجز عن رؤية ما يقع خلف الأفق، يعني الكون القابل للرصد «كل ما يقع في نطاق الأفق». مع الوقت يتمدد الكون، وبعد مليار عام سيصير قطره ١٤٫٧ مليار سنة ضوئية. لهذا يعتمد المقصود بالكون القابل للرصد على الوقت الذي يُرصد فيه الكون.[8] إن حقيقة وجود أفق لا تعني أن ما وراء هذا الأفق هو الخواء.[9] بل يمكن تصور الأفق على أنه سطح لكرة خيالية يبلغ قطرها ١٣٫٧ مليار سنة ضوئية، مركزها الأرض، وتتحرك في جميع الاتجاهات بسرعة الضوء وهي تحدد قدر ما يمكننا رؤيته، حتى بشكل نظري. لا يعني هذا أن الأرض لها وضع خاص في الكون؛ فكل نقطة في الكون سيكون لها أفقها الكروي المحيط بها، الذي ربما يتداخل مع أفقنا. لكن لاحظ أنك إذا انتقلت إلى

المجرة (س)، التي تبعد ثمانية مليارات سنة ضوئية عن الأرض، عندئذٍ سيمتد الأفق المحيط بها إلى مناطق في الكون لا يمكننا رؤيتها هنا على الأرض في هذا الوقت. إننا لا نعرف ما يقع خلف أفقنا الكوني، لكن من المنطقي الافتراض بأنه لن يختلف عما نراه بالفعل، وأن المشهد من المجرة (س) لن يكون مختلفًا اختلافًا كبيرًا عن المشهد من كوكبنا. إن أبسط الافتراضات هو أن منطقة الفضاء الواقعة ضمن أفقنا هي ذاتها في الكون كله، وهذا هو مبدأ عدم التميز مجددًا، ولو كان الحال كذلك يمكننا إذن أن نصوغ تعريفًا ثالثًا.

(٧-٣) الكون الكلي

وهذا يشمل كل الفضاء (الذي يمكن أن يكون لانهائيًّا)، داخل أفقنا ووراءه، إضافة إلى محتوياته، وذلك وفق الافتراض بأن الكون المرصود مماثل للكون الكلي. فيما بعد سنرى أن هذه النظرة البسيطة للكون، والمبنية على التطبيق غير الدقيق لمبدأ عدم التميز، تتعرض في الوقت الحالي لنقد شديد. وهو ما يقودنا إلى تعريف آخر.

(٧-٤) الكون الجيبي

هو منطقة من الفضاء تمتد إلى حدود الكون القابل للرصد الذي نراه اليوم (والذي قد يمتد بقدر بعيد للغاية في حقيقة الأمر، إلى ما وراء الأفق). لكن لو أننا نسكن كونًا جيبيًّا[10] فسيكون هناك حد في مكان بعيد للغاية، ووراءه ستبدو الأشياء مختلفة للغاية. إلا أنه ستكون هناك أكوان جيبية أخرى موزعة بطول المنطقة الواقعة خارج أفقنا وعرضها، بعضها يشبه كوننا، لكن أغلبها لا يشبهه. ولهذا، من المرجح أن يكون كوننا متمايزًا، وهو ما يعني خطأ مبدأ عدم التميز إذا وضعنا في الاعتبار جميع الأكوان الجيبية. وهذا يقودنا إلى التعريف الأخير.

(٧-٥) الكون المتعدد

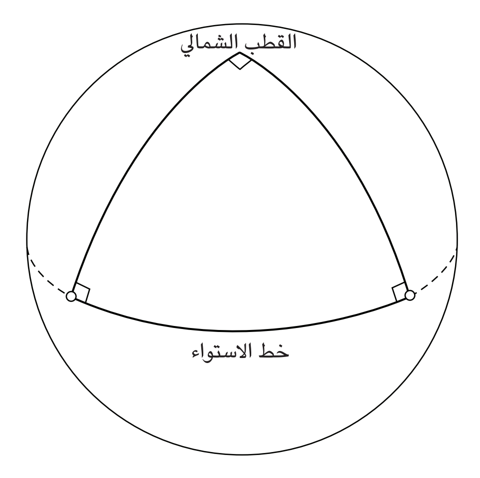
بشكل تقريبي هذه هي تجميعة للأكوان الجيبية (ذات العدد اللانهائي على الأرجح) إضافة إلى الفجوات بينها. يفضل بعض الكتاب هنا استخدام المصطلح «الكون الفائق». سأتناول فكرة الكون المتعدد في الفصول الأخيرة.

(٨) الكون المنحني

إلى الآن اقتصر تركيزي على الاكتشافات الكونية، إلا أن علم الكونيات لن يُعد علمًا بحق إذا افتقر إلى إطار عمل من النظريات الفيزيائية التي يمكن فهم هذه الاكتشافات داخله. وُضع الأساس النظري لعلم الكونيات الحديث منذ حوالي القرن على يد أينشتاين في صورة نظرية النسبية العامة. نُشرت هذه النظرية عام ١٩١٥، في الأيام السوداء للحرب العالمية الأولى، إلا أن هذا لم يمنع علماء الفلك والفيزياء من جانبي الصراع من الاهتمام الكبير بما تقوله هذه النظرية عن علم الكونيات. صُممت نظرية النسبية العامة، أو النسبية العامة كما يشار إليها اختصارًا، كي تحل محل نظرية نيوتن للجاذبية الموضوعة في القرن السابع عشر. في علم الكونيات تعد الجاذبية هي القوة المهيمنة، المسيطرة على جميع القوى الأخرى في شتى أرجاء الكون، لهذا احتاج علماء الكونيات لنظرية متعلقة بالجاذبية كي يفهموا الكون المتمدد.

تجسدت عبقرية أينشتاين في إدراكه أنه رغم أن الجاذبية تعبر عن نفسها في صورة قوة، فإنه من الممكن فهمها فهمًا مختلفًا تمامًا، في ضوء ما يعرف بـ «الهندسة المنحنية». دعني أشرح لك ما يعنيه هذا: إن قواعد الهندسة التي نتعلمها في المدارس يعود ماضيها إلى وقت الإغريق القدماء، وهي تعرف باسم الهندسة الإقليدية، على اسم إقليدس الذي دوّن قواعدها. هناك العديد من القواعد الرياضية التي يمكن إثباتها بالبديهيات الإقليدية، مثال على ذلك قاعدة فيثاغورث الشهيرة. من النظريات الأخرى الشهيرة تلك التي تنص على أن مجموع الزوايا الداخلية للمثلث تساوي مجموع زاويتين قائمتين (أي ١٨٠ درجة). إن خصائص الخطوط والدوائر والمثلثات وغيرها من الأشكال لا تحتمل غير تفسير واحد، إلا أن هناك شرطًا أساسيًّا لذلك: وهي أنها تنطبق فقط على الأسطح المستوية. إن هذه النظريات تعمل بمثالية على سبورات الدراسة وألواح الورق الموجود على المكاتب الدراسية، إلا أنها لا تصلح في الأسطح المنحنية أو المطوية كالكرات. يدرك الطيارون والملاحون هذه الحقيقة بشكل تام، وهم يستخدمون قواعد هندسية مختلفة للتأقلم مع تقوس سطح الأرض. على سبيل المثال، على سطح كوكب الأرض يمكن أن يملك المثلث ثلاث زوايا قائمة (انظر الشكل ٢-٦).

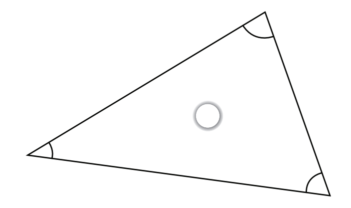
إذا كان بإمكان الأسطح ثنائية الأبعاد أن تكون إما مستوية (الهندسة الإقليدية) أو منحنية (الهندسة اللاإقليدية)، فهل يمكن أن يكون الفضاء ثلاثي



شكل ٢-٦: **الفضاء المنحني.** تختلف قواعد الهندسة على السطح الكروي عن تلك الخاصة بالسطح المستوي. على سبيل المثال، قد يحتوي المثلث على ثلاث زوايا قائمة، مثل هذا المثلث المرسوم على سطح الأرض، الذي يصل رأسه إلى القطب الشمالي وتسير قاعدته على امتداد خط الاستواء. السطح الكروي ثنائي الأبعاد الممثل هنا هو نظير للفضاء المنحني ثلاثي الأبعاد.

الأبعاد، إما ذا هندسة «مستوية» (إقليدية) أو هندسة منحنية؟ قبل أينشتاين كان الجميع يفترضون أن الفضاء له هندسة «مستوية» أو إقليدية، وأنه يتبع القواعد التي تعلمناها في المدارس للأبعاد الثنائية بشكل تام. إلا أنه لا يوجد سبب منطقي يحتم ذلك. تسلى بعض علماء الرياضيات في القرن التاسع عشر بفكرة أن هندسة الفضاء ثلاثي الأبعاد يمكن أن تكون تعميمًا لهندسة الأسطح المنحنية. وقد توصلوا للقواعد الهندسية الخاصة بهذا «الفضاء المنحني»، إلا أنه في ذلك الوقت كان يُنظر لهذا بوصفه تسلية رياضية لا أكثر. إلا أن كل هذا تغير مع حلول نظرية النسبية العامة، التي اقترح أينشتاين من خلالها أن حقل الجاذبية يمكنه التسبب في انحناء الفضاء ثلاثي الأبعاد، وهو ما يحتم علينا استخدام الهندسة اللاإقليدية لوصفه.

ما هو، إذن، الفضاء المنحني؟ من طرق تخيله: التفكير في مثلث مرسوم حول الشمس (انظر الشكل ٢-٧). لكن من المهم أن يكون هذا المثلث مستويًا (أي يقع على سطح مستوٍ). والآن قِس زوايا المثلث واجمعها معًا. إذا طبقنا الهندسة الإقليدية على هذا الموقف ستكون النتيجة ١٨٠ درجة، لكن أينشتاين زعم



شكل ٢-٧: **الفضاء المنحني حول الشمس.** إذا رسمنا مثلثًا «مستويًا» حول الشمس، يصير مجموع زواياه أكبر بقليل من ١٨٠ درجة؛ لأن مجال الجاذبية الشمسي يشوه هندسة الفضاء في الجوار. طريقة أخرى مساوية للتفكير في هذه الظاهرة هي أن نقول إن أضلاع هذا المثلث هي أكثر الخطوط استقامة في الهندسة المنحنية. إذا سلطنا أشعة ضوء على امتداد أضلاع المثلث فسيبدو للمتلقي على الجانب الآخر من الشمس أن الأشعة انثنت قليلًا بفعل جاذبية الشمس.

أن الإجابة ينبغي أن تكون أكبر قليلًا من ١٨٠ درجة، رغم استواء المثلث، وذلك لأن مجال جاذبية الشمس يحني الهندسة ثلاثية الأبعاد للفضاء المحيط به. يمكن إجراء هذه التجربة (بصورة مشابهة) من خلال موجات الرادار المرتدة عن عطارد والزهرة وتثليثها. يتضح لنا أن أينشتاين كان محقًّا، وأن الفضاء في حقيقة الأمر منحنٍ وليس مسطحًا. (توضيح مهم فيما يخص المصطلحات المستخدمة: حين يتحدث علماء الكونيات عن الفضاء «المسطح» فهم لا يعنون أن الفضاء مسطح مثل الفطيرة، بل يعنون فضاء ثلاثي الأبعاد لكن تنطبق عليه الهندسة الإقليدية.) أحيانًا توصف الهندسة المنحنية بالقرب من الشمس بالقول إن جاذبية الشمس تحني أشعة الضوء المارة بالقرب منها، وفي هذه الحالة سيكون للمثلث زوايا مشوهة بسبب انحراف أضلاعه. وهذا صحيح؛ فهذه طريقة أخرى للتفكير في الفضاء المنحني، مع الوضع في الاعتبار أن الأضلاع المنحرفة هي في حقيقة الأمر أكثر خطوط يمكن رسمها في الهندسة المنحنية استقامة، وعلى هذا لا يقتصر الأمر على مجرد تقويم أشعة الضوء المنحنية ومن ثم استعادة النتائج الإقليدية. إن الفضاء منحنٍ انحناء لا يمكن تقويمه، ولن تفلح أي حيلة في جعله يتوافق مع قواعد الهندسة الإقليدية.

مع أن الفضاء المنحني حول الشمس قابل للقياس فإنه ضئيل للغاية. وقد تأكد وجوده على يد عالم الفلك الإنجليزي أرثر إدينجتون، الذي قاس انحناء الضوء عن طريق ملاحظة الإزاحات الطفيفة في مواضع النجوم في نفس الموضع

الذي تحتله الشمس في السماء إبان الكسوف الكلي الذي حدث عام ١٩١٩. انحنت أشعة الضوء الصادرة عن النجوم بنفس القدر الذي تنبأت به النسبية العامة، وقد تسبب هذا التأكيد المثير في رفع أينشتاين إلى مكانة المشاهير. إن انحناء الفضاء ضئيل لأن مجال الجاذبية الشمسي ضعيف وفق المعايير الفلكية. لكننا اليوم على معرفة بأجسام أخرى في الفضاء لها مجالات جاذبية أكبر بكثير تسبب انحناء الضوء انحناءً أكثر قابلية للملاحظة. من الأمثلة البارزة على ذلك حين توجد إحدى المجرات بين كوكب الأرض ومصدر بعيد للضوء؛ في ظل هذه الظروف تحني المجرة أشعة الضوء من حولها من جميع الجهات، مثل العدسة، مسببة تشوه صورة مصدر الضوء البعيد وتقوسها. وفي بعض الحالات تصير الأشعة على شكل حلقة كاملة، تُعرف، بشكل ملائم، باسم حلقة أينشتاين. تحدث أقصى حالات انحناء الضوء — أو انحناء الفضاء — حول الثقوب السوداء. ففي هذه الحالة يكون انحناء الفضاء قويًّا حتى إنه يحبس أشعة الضوء تمامًا، ويمنعها من الهرب.

حتى الآن، هناك جانب معين تحدثت عنه بتبسيط شديد؛ إن أينشتاين في نظريته السابقة، المسماة بنظرية النسبية الخاصة والمنشورة عام ١٩٠٥، بَيّن أن المكان مرتبط بالزمن بصورة يمكن معها اعتبارهما وحدة واحدة، يعبر عنها بالمصطلح «زمكان» spacetime. إن للمكان ثلاثة أبعاد، وللزمن بعدًا واحدًا، وهو ما يعني وجود أربعة أبعاد إجمالًا.[11] توصل هيرمان مينكوفسكي، وهو أحد أساتذة أينشتاين في الرياضيات، إلى كيفية تعديل قواعد الهندسة الإقليدية كي تصف الزمكان رباعي الأبعاد. حين عمم أينشتاين نظرية النسبية عام ١٩١٥ كي يضمن الجاذبية، اقترح أن الزمكان هو الذي ينحني، وليس المكان وحده. قد تعني هندسة الزمكان المشوهة انحناء المكان، أو الزمن، أو كليهما. في المناقشة السابقة للفضاء المنحني حول الشمس تجاهلت عامل الزمن، إلا أن لهذا العامل أهميته هو الآخر، وحتى الانحناء الزمني (الضئيل) حول الشمس تم قياسه. وفي الحقيقة، حتى الانحناء الزمني الأصغر لكوكب الأرض قابل للقياس، وهو يعبر عن نفسه بالساعات التي تدق أسرع بشكل طفيف على الارتفاعات العالية، مثل الجبال، منها على مستوى سطح البحر. (لمزيد من الاختبارات عن النسبية العامة انظر الإطار ٢.)

إطار ٢: اختبارات لنظرية النسبية العامة لأينشتاين

حين نشر أينشتاين نظرية النسبية العامة عام ١٩١٥ (والمبنية على نظرية النسبية الخاصة التي نشرها عام ١٩٠٥)، اقترح ثلاثة اختبارات يمكن القيام بها عن طريق أخذ ملاحظات من داخل النظام الشمسي. كان أولها هو انحناء أشعة الضوء الذي ذكرناه من قبل. أما الاختبار الثاني فيتعلق بمدار كوكب عطارد. إن الانحناء الزمكاني حول الشمس يتسبب في حدوث انحراف بسيط في حركة الكواكب التي تدور حولها، والمصطلح العلمي لها هو «تقدم الحضيض». تغير آخر مشابه لكنه أكبر حجمًا بكثير يحدث نتيجة الاضطراب الذي تحدثه جاذبية الكواكب الأخرى. فيما يتعلق بكوكب عطارد فإن قدر التصحيح الصغير هو ٤٣ ثانية قوسية لكل قرن. ورغم ضآلة هذا الانحراف فإن علماء الفلك كانوا قد قاسوه بالفعل، وكان سببه غامضًا، إلى أن جاءت النسبية العامة وفسرته بدقة.

الاختبار الثالث متعلق بتأثير الجاذبية على الزمن؛ بمعنى أن الساعات تسير بشكل أبطأ في مجالات الجاذبية. في الحقيقة، كل العمليات الفيزيائية تُبطئ في مجالات الجاذبية، بما فيها عملية انبعاث الضوء. أوضح أينشتاين أن الضوء الصادر عن الشمس ينبغي أن ينحرف بقدر ضئيل صوب الطرف منخفض التردد من الطيف نتيجة مجال الجاذبية الشمسي، وهو الأثر المعروف باسم إزاحة الجاذبية الحمراء. من العسير قياس هذا في الشمس، لكن في عام ١٩٦٠ تم التأكد من هذا التنبؤ بدقة بالاستعانة بجاذبية الأرض. تمثلت التجربة في إرسال فوتونات أشعة جاما إلى أعلى أحد أبراج جامعة هارفارد، ثم استخدام تقنية رنين نووي فائقة الحساسية لكشف أي إزاحة في الترددات.

كشفت التطورات المتحققة في علم الفلك عن وجود أجرام سماوية لها مجالات جاذبية هائلة، يكون تأثير النسبية العامة عليها أعظم بكثير مما هو الحال داخل النظام الشمسي. على سبيل المثال، استُخدمت أزواج النجوم النيترونية التي يدور بعضها حول بعض في مدارات قريبة لتأكيد العديد من تنبؤات النظرية بدرجة دقة عالية. تعد الثقوب السوداء من التنبؤات الجامحة الأخرى لنظرية النسبية العامة، ويعكف علماء الفلك بنشاط على دراسة خصائصها. أيضًا تعد ظاهرة عدسة الجاذبية (التي تحدثنا عنها منذ قليل) اختبارًا إضافيًّا.

مع اختراع الساعات الذرية وأشعة الليزر صار من الممكن اختبار تنبؤات النسبية العامة بدقة أعلى وأعلى في المزيد من المواقف. في حقيقة الأمر دخلت تأثيرات نظرية النسبية الآن عالم الهندسة التطبيقية. على سبيل المثال، يعمل نظام تحديد المواقع العالمي «الجي بي إس» GPS الذي يستخدمه السائقون والطيارون بالمقارنة بين الإشارات محددة الوقت بدقة الآتية من شبكة من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض، على أن يقوم أحد لوغاريتمات الحاسب الآلي بضبط آثار الانحناء الزمني لكل من الجاذبية والحركة.

لم يخضع أحد تنبؤات نظرية النسبية العامة للاختبار بعد. في عام ١٩١٨ بين أينشتاين كيف أن الكتل المتحركة يمكنها توليد موجات جاذبية، هذه الموجات تشبه الموجات الكهرومغناطيسية وتسافر أيضًا بسرعة الضوء. ومع ذلك، ولأن الجاذبية أضعف بكثير من الكهرومغناطيسية يكون تأثير موجات الجاذبية أضعف بكثير. يمكن تخيل هذه الموجات على شكل ذبذبات صغيرة في سطح الفضاء المنحني، وحين تمر أي موجة بالقرب من أحد الأجسام تتسبب في اهتزازه بدرجة طفيفة. بُنيت أجهزة كشف في محاولة لتحديد هذا الأثر، إلا أنها لم تنجح في مسعاها حتى الآن. ومع ذلك، يظهر أحد الأنظمة النجمية النيوترونية المزدوجة الذي تمت دراسته على مدار سنوات عديدة إشارات على وجود خلل في مداره نتيجة موجات الجاذبية، وبهذا تم التأكد من وجودها بصورة غير مباشرة.

(٩) كون أينشتاين المتناهي لكن غير المحدود

يحتوي الكون القابل للرصد على حوالي $١٠^{٥٠}$ طن من المادة المرئية على صورة نجوم وغازات وغبار، تتحد جميعها لتخلق مجال جاذبية قويًّا. ولأن الجاذبية تسبب انحناء هندسة الفضاء، يتداعى إلى الذهن على الفور السؤال الآتي المثير للاهتمام: ما الشكل الكلي للكون؟ لا أعني بهذا كيف تتوزع المجرات في الكون، بل إنني أشير إلى شكل الفضاء نفسه، في ضوء الشكل الأعظم للكون. هذه هي المشكلة التي عزم أينشتاين على حلها عام ١٩١٧، بعد عامين من تقديمه لنظرية النسبية العامة. وبتطبيق فكرة الفضاء المنحني على علم الكونيات أمكن بناء نموذج رياضي للكون بأكمله. ومع أنه قد اتضح فيما بعد عدم صحة هذا النموذج، فإنه قدم لعلم الكونيات عددًا من الملامح المهمة.

كما أوضحت تسبب الشمس بعض الاضطراب البسيط في الفضاء حولها. أيضًا تسبب النجوم الأخرى اضطرابات مشابهة في مواضعها. والسؤال الذي أفكر فيه حاليًّا يختص بكيفية تجمع هذه الاضطرابات معًا. هل سيكون الانحناء تراكميًّا، بحيث حين نضع في الاعتبار عناقيد المجرات سنجد أن انحناء الفضاء يصير كبيرًا للغاية، أم أن هذه الاضطرابات يلغي بعضها بعضًا؟ في نموذج أينشتاين الرياضي للكون تتراكم معدلات الانحناء حتى إنه، بتوزيعها على مليارات السنوات الضوئية، يشبه شكل الكون نسخة ثلاثية الأبعاد من سطح كرة، يشار إليها بالكرة الفائقة، لا تقلق إذا لم تستطع تخيل شكل الكرة الفائقة. النقطة المهمة هنا هو أنها

منطقية للغاية من الناحية الرياضية، ويسهل حساب خصائصها عن طريق تعميم نظرية الأسطح الكروية ثنائية الأبعاد المألوفة.

هناك خاصية مهمة تتعلق بحجم الفضاء، في كون أينشتاين الكروي الفائق يكون الفضاء متناهيًا (تمامًا مثلما يكون السطح الكروي للأرض متناهيًا). هذا يعني أن الفضاء (في نموذج أينشتاين) لا يمتد إلى ما لا نهاية، وبهذا يتناقض مع ما علمني والدي إياه. من الخصائص الأخرى المهمة لكون أينشتاين هي أنه متطابق الشكل (في المتوسط). يصح نفس الشيء، بالطبع، على سطح أي كرة؛ فلا توجد أي خصائص مميِّزة تتفرد بها أي نقطة بعينها على السطح الكروي؛ فلا يوجد مركز أو حد نهائي. (الكرة الأرضية لها مركز بالطبع، لكن «سطح» الكرة الأرضية ليس له مركز.) وعلى هذا سيبدو كون أينشتاين بنفس الشكل من أي مجرة، تمامًا كما يرصده علماء الفلك. وبهذا يصير الكون متناهيًا لكن غير محدود، غير محدود بمعنى أنه لا توجد به حافة أو حد نهائي يمنع أي جسم من التحرك من أي مكان لآخر في الكون. ومع ذلك فهناك عدد محدود من الأماكن التي يمكن الذهاب إليها، بنفس المعنى الذي نقصده حين نقول إن هناك عددًا محدودًا من الأماكن التي يمكن أن نقصدها على سطح كوكب الأرض. وتمامًا مثلما يستطيع الشخص الدوران حول كوكب الأرض بالمضي قدمًا في خط مستقيم، بحيث يعود إلى مكانه الأصلي لكن من الجهة المعاكسة، يستطيع أي شخص بشكل نظري أن يدور حول كون أينشتاين، بالسير في خط مستقيم، مع عدم الانحراف قط، ومن ثم العودة إلى نفس المكان الذي انطلق منه. وفي الواقع يمكنك باستخدام تلسكوب قوي بما يكفي أن تنظر عبر كون أينشتاين إلى أن ترى مؤخرة رأسك! نموذج الفضاء هذا هو التعميم ثلاثي الأبعاد لفكرة حلقة الشريط المطاطي التي وصفتها في بداية هذا الفصل (شكل ٢-٤).

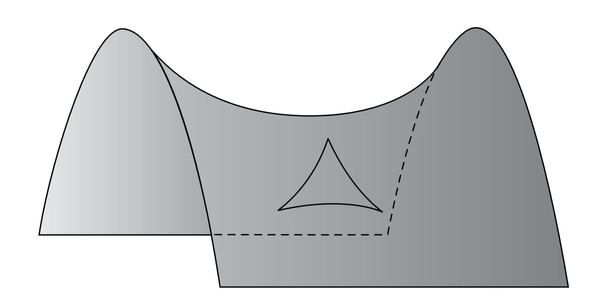
من الصعوبات التي يواجهها الناس عند تخيل شكل الكرة الفائقة تلك الفكرة المقلقة «ماذا يقع في قلبها؟» إنهم يفكرون في سطح كروي ثنائي الأبعاد، كالبالون المستدير، ثم يقولون: «حسن، يوجد هواء داخل البالون.» إن مسألة ما «يحويه» كون أينشتاين ليست بالقضية ذات الأهمية. إننا كبشر، والكون الذي ندركه (على الأقل تلك الأجزاء التي رصدناها بالفعل)، منحصرون في ثلاثة أبعاد من الفضاء، ولهذا تصير قضية ما يوجد «داخل» فضاء أينشتاين الكروي الفائق ثلاثي الأبعاد أمرًا غير ذي أهمية. يمكنك، لو كان هذا سيساعدك، أن تتخيل هذه المنطقة

«الداخلية» كبعد رابع للفضاء (فارغ أو حتى مليء بالجبن الطازج)، لكن لأننا حبيسو «السطح» الكروي الفائق ثلاثي الأبعاد، فلا يهمنا في شيء ما إذا كانت تلك المنطقة الداخلية موجودة أم لا، ناهيك عما تحويه. ونفس الأمر ينطبق على المنطقة الخارجية، التي تشبه في مثالنا الفضاء المحيط ببالون الهواء.[12]

لاستيعاب هذه النقطة، بما أنه يصعب على الكثيرين فهمها، حاول أن تتخيل نفسك في مكان مخلوق مسطح حياته محصورة على سطح بالون مستدير. قد يصل هذا المخلوق لفكرة عما يوجد داخل البالون (هواء، فراغ، جبن طازج ...)، لكن أيًّا ما هو موجود هناك لا يؤثر البتة على خبرات هذا المخلوق المسطح لأنه عاجز عن الوصول إلى داخل البالون أو حتى الحصول على معلومات عنه. إضافة إلى هذا، ليس من الضروري أن يكون داخل البالون أي شيء من الأساس (حتى الفراغ) كي يستطيع قاطنو السطح استنتاج كرويته. بمعنى أن المخلوقات المسطحة ليست بحاجة للنظر من أعلى إلى البالون لاستنتاج أن عالمها كروي — مغلق ومتناهٍ، لكن دون حدود — إذ يستطيع أحدهم أن يستنتج كل هذا من خلال الملاحظات المستقاة من السطح الكروي ذاته؛ بمعنى أن سمة الكروية «متأصلة» في السطح ولا تعتمد على كونه مدمجًا في فضاء ثلاثي الأبعاد محيط به. كيف يمكن للمخلوقات المسطحة معرفة ذلك؟ حسنًا، على سبيل المثال عن طريق رسم مثلث وقياس زواياه ومعرفة هل مجموعها سيتجاوز ١٨٠ درجة. أو بمقدور المخلوق المسطح أن يدور حول عالمه دورة كاملة. بنفس المنطق تمكن البشر من استنتاج أننا نعيش في فضاء أينشتايني كروي فائق مغلق محدود دون الحاجة إلى فضاء آخر ذي أبعاد أعلى يغلف أو يطوق كوننا؛ فقط بالقيام ببعض الحسابات الهندسية داخل فضائنا. وعلى هذا فإن وجود أو عدم وجود نطاق «داخلي» أو «خارجي» على كون أينشتاين، ناهيك عما يتكون منه، هو ببساطة أمر غير ذي صلة. لكن إذا وددت أن تتخيل وجود فضاء فارغ لا يمكن الوصول إليه فقط كي يسهل عليك تصور الأمر، فافعل، فهذا لن يحدث أي فارق.

(١٠) ما شكل الكون؟

كل هذا مقبول تمامًا، لكن هل كان أينشتاين محقًّا بالفعل في تصوره للكون على شكل كرة فائقة؟ هنا، يقدم لنا المسبار WMAP عونًا كبيرًا. من البديهي أنه لو



شكل ٢-٨: **الفضاء المنحني السالب.** من الممكن، بالمعايير الكونية، أن يكون الفضاء متطابقًا، لكنه منحنٍ إلى الخارج وليس إلى الداخل. الشكل ثنائي الأبعاد المبين هنا يعد تمثيلًا لهذا الفضاء ثلاثي الأبعاد المنحني بالسلب. إنه فضاء لانهائي ومتجانس. تعبر هندسة الانحناء السالب عن نفسها عن طريق تشويه شكل المثلث المرسوم، الذي يكون مجموع قياس زواياه أقل من ١٨٠ درجة.

كان الكون يفتقر للتطابق في الشكل بدرجة كبيرة، لبدا هذا واضحًا في أنماط الموجات الميكرونية الآتية من السماء. إلا أن حقيقة اتساق أنماط الإشعاع في الشكل لهذه الدرجة توحي بأن الكون — بقدر ما يمكننا رصده — ذو شكل منتظم.[13] لكن ما هذا الشكل؟ بالعودة للتشبيه ثنائي الأبعاد يمكننا تحديد شكلين منتظمين بشكل تام؛ السطح الممتد اللانهائي، والكرة تامة الاستدارة. إلا أن هناك نوعًا ثالثًا أشبه بالكرة المقلوبة. تذكر أنه على سطح الكرة يكون مجموع زوايا المثلث أكثر من ١٨٠ درجة. من الناحية الفنية يقال إن الكرة منحنية بشكل «موجب». لكن ماذا عن السطح المتسق الذي فيه يكون مجموع زوايا المثلث أقل من ١٨٠ درجة؟ مثل هذا الشكل يكون له تقوس «سالب». مثل هذا السطح الذي سيبدو كالسرج، يمكن أن يوجد، لكنه سيمتد إلى ما لا نهاية (انظر الشكل ٢-٨). إن الأسطح الثلاثة — ذات التقوس الصفري والموجب والسالب — يمكن تعميمها إلى ثلاثة أبعاد. ومنذ عشرينيات القرن العشرين، حين أدرك علماء الكونيات لأول مرة أن هناك ثلاثة أشكال متباينة للفضاء ذي الشكل المتطابق المتسق، يرغب العلماء في معرفة أي منها الأقرب شبهًا بكوننا.

جرت محاولات عدة للتعامل تعاملًا مباشرًا مع هذه المشكلة، فلأن هندسة الأشكال الثلاثة للفضاء متباينة فينبغي أن يصير علماء الفلك قادرين على التمييز بينها بسهولة وبالنظر فقط. إن قياس زوايا مثلث عبر مسافات كونية ليس بالأمر

الممكن، إلا أن هناك احتمالات أخرى. بالعودة مجددًا إلى العالم ثنائي الأبعاد، تخيل أنك رسمت عددًا من الدوائر متحدة المركز على ورقة مستوية. إن المساحة التي تشغلها كل دائرة منها تزيد بالتناسب مع مربع نصف قطرها، وإذا ضاعفت نصف القطر تتضاعف مساحة الدائرة أربع مرات. لكن على السطح الكروي تصير هذه العلاقة مغلوطة؛ إذ تزيد المساحة مع زيادة نصف القطر بمعدل أقل. من اليسير رؤية ذلك؛ لأنك لو حاولت فرد قبعة فسيكون عليك قص أجزاء مثلثة منها، وبهذا لن تغطي المساحة التي يغطيها نصف قطرها على سطح مستوٍ. وبالمثل، ستزيد مساحة شكل السرج بمعدل أكبر من مربع نصف القطر. بالانتقال إلى عالم الأبعاد الثلاثية سنجد أن حجم أي منطقة في الفضاء سيزيد بقدر يساوي مكعب نصف قطر هذه المنطقة لو أن الفضاء مستوٍ (مستوٍ لكن ثلاثي الأبعاد، تذكر، وليس مسطحًا تمامًا). أما لو كان الفضاء على شكل كرة فائقة، كما اقترح أينشتاين، فسيزيد الحجم بمعدل أقل مع زيادة نصف القطر، ولكنه لو كان على شكل «السرج الفائق» فسيزيد بمعدل أكبر. ومن الممكن حساب حجم أي منطقة في الفضاء بحساب عدد المجرات التي تحتوي عليها.

حاول بعض علماء الفلك تأسيس هندسة الكون على هذا النمط، لكن نتائجهم لم تكن حاسمة بسبب صعوبة قياس المسافات الدقيقة التي تفصلنا عن المجرات البعيدة وغير ذلك من الصعوبات التقنية. ومع ذلك فمن الممكن الحصول على إجابة من البيانات الخاصة بالمسبار WMAP، وذلك بقياس حجم التفاوت في درجات الحرارة، البقع الحارة والباردة (الفاتحة والداكنة) الموجودة بالشكل ٢-١. قبل إطلاق القمر الصناعي الحامل للمسبار WMAP، كان المنظرون قد توصلوا بالفعل إلى الحجم الفعلي للتفاوت في درجات الحرارة، لكن تحويل ذلك إلى حجم زاوي واضح في السماء يعتمد على هندسة الفضاء: فإذا كان الفضاء موجب الانحناء فسيجعل هذا الزوايا تبدو أكبر، في حين الانحناء السالب سيجعلها أصغر. أما لو كان الفضاء مستويًا (أي يتبع الهندسة الإقليدية) فسيكون الحجم الزاوي للتفاوت بين أقوى النقاط الحارة والباردة حوالي درجة واحدة عرضًا. كانت النتائج التي وردتنا من القمر الصناعي حاسمة؛[14] إذ كان التفاوت بالفعل قريبًا من درجة واحدة في الحجم، وهي النتيجة التي أكدتها التجارب التي جرت على الأرض وعن طريق المناطيد. وقد أعلن علماء الكونيات وقتها أن الفضاء — ضمن نطاق دقة رصد قدره ٢ بالمائة — مستوٍ.[15]

(١١) الكون قد لا يزن شيئًا!

كيف يمكن أن يكون الفضاء في مجمله مسطحًا في حين تتسبب الشمس وغيرها من النجوم في انحنائه في مواضعها؟ من المؤكد وجود شيء آخر بين النجوم يجعل الفضاء ينحني في الاتجاه المعاكس بحيث يصير متوسط الانحناء صفرًا. (تذكر أن الفضاء يمكن أن ينحني بالإيجاب أو بالسلب.) ما هذا الشيء؟ تأتينا الإجابة من معادلة أينشتاين الشهيرة: «الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء» وهي تخبرنا أن الكتلة طاقة، وأن الطاقة كتلة. سأشير كثيرًا إلى «الكتلة/الطاقة» كمفهوم واحد في حديثي التالي. عند تقدير كتلة الكون سيكون علينا تضمين جميع أنواع الطاقة، وليس فقط كتلة الشمس والنجوم وغيرها من الأجرام السماوية. تسهم أيضًا الطاقة الحرارية لإشعاع الخلفية الكوني في مقدار الكتلة/الطاقة الإجمالي للكون. وأخيرًا وليس آخرًا، هناك مجال الجاذبية نفسه؛ إذ إن الجاذبية نوع من الطاقة. لكن الآن سنلاحظ حقيقة غريبة: تخيل أنك تحاول إخراج الأرض من مدارها حول الشمس، سيكون عليك وقتها أن تبذل بعض الجهد — بمعني استهلاك طاقة — كي تجذبها بعيدًا عن مجال جاذبية الشمس. بهذا تصير طاقة الجاذبية التي تربط الأرض بالشمس «سالبة» (أي إنك تحتاج الجهد لفصم هذه الرابطة). وإذا كان لمجال الجاذبية طاقة سالبة فسيكون له بالتبعية كتلة سالبة، وبهذا ينبغي «طرحه» من الكتلة/الطاقة الموجبة للشمس والكواكب.

لنرَ الآن كيف تؤثر طاقة الجاذبية السالبة على المجموع الكلي لكتلة/طاقة الكون. داخل النظام الشمسي يعد مقدار كتلة/طاقة الجاذبية تافهًا مقارنة بكتلة الشمس الهائلة، وبهذا تصير الكتلة الكلية للنظام الشمسي — حتى مع الوضع في الحسبان قوى الربط السالبة — كبيرة وموجبة. لكن حين يتعلق الأمر بالكون في مجمله يختلف الحال تمامًا. من الخصائص المميزة للجاذبية أنها قوة عامة؛ بمعنى أنها تعمل بين جميع جزيئات المادة في الكون بأسره. لهذا، كي نحسب طاقة الجاذبية (السالبة) للكون كله، سيكون علينا أن نحسب كل أشكال طاقة الجاذبية التي تربط كل جزيء من المادة بآخر في الكون، وسيكون إجمالي قوى الربط هائلًا، حتى لو كانت المسافات التي تفصل كل نجم عن الآخر شاسعة للغاية. وعن طريق التقدير البسيط لطاقة الجاذبية التي تربط جميع المجرات بعضها ببعض سنجد أن إجمالي كتلة مجال الجاذبية (باستخدام معادلة: الطاقة = الكتلة

× مربع سرعة الضوء) يبلغ حوالي سالب $١٠^{٥٠}$ طن، وهو ما يعادل تقريبًا الكتلة الإجمالية الموجبة (المضادة) للنجوم وغيرها. إن حقيقة كون هذين الرقمين الهائلين متماثلين — لكن أحدهما موجب والثاني سالب — توحي بقوة بأن أحدهما يعمل على تحييد الآخر، وهو ما يجعل الكتلة الإجمالية للكون تساوي صفرًا!

تقدم نظرية النسبية العامة لأينشتاين رابطًا بين كتلة الكون وهندسة الفضاء (انظر الفصل السادس). وعلى وجه التحديد، إذا كانت الكتلة الإجمالية موجبة — أي إن حجم المادة يفوق طاقة الجاذبية السلبية — يكون الفضاء منحنيًا بالإيجاب، مثل كون أينشتاين. أما إذا كانت الكتلة الإجمالية سالبة — أي إن طاقة الجاذبية تتفوق على المادة — يكون الفضاء منحنيًا بالسلب، مثل السرج. وإذا بلغت صفرًا يكون الفضاء مستويًا.[16] كان علماء الكونيات يعرفون لسنوات أن الطاقتين الموجبة والسالبة للكون تلغي إحداهما الأخرى، إلا أن المسبار WMAP هو الذي أكد هذه الحقيقة بالدليل، ففي حدود نسبة خطأ لا تتجاوز ٢ بالمائة وجد القمر الصناعي أن الفضاء مستوٍ، وهو ما يُترجَم إلى نتيجة مفادها أن «الكون لا يحوي أي كتلة صافية على الإطلاق!» وهذا، كما سنرى، يعد أحد «المصادفات» التي يحتاجها الكون كي يدعم الحياة.

(١٢) كم عدد الأبعاد الإجمالي؟

في عام ١٨٨٤ نشر رجل الدين الإنجليزي ذو الاسم الجليل إدوين إبوت إبوت النسخة المنقحة لقصة «الأرض المسطحة»، التي صارت من الأعمال الكلاسيكية المقروءة حتى يومنا هذا في جميع أرجاء العالم.[17] وقد مهد المؤلف للكتاب بهذا الإهداء العجيب:

إلى
سكان الفضاء على وجه العموم
وهاوارد كاندلر على وجه الخصوص
أهدي هذا العمل
أنا الساكن البسيط للأرض المسطحة
على أمل أنه
مثلما كشف أسرار
الأبعاد الثلاثة

بعد أن كان ملمًّا في السابق
ببعدين فقط
يطمح مواطنو هذه المنطقة الكونية
أعلى وأعلى
إلى أسرار الأبعاد الرباعية والخماسية والسداسية
وبهذا يسهمون
في توسيع الخيال
والتطور المحتمل
لسمة التواضع الأهم والأروع
بين الأجناس الأسمى
من البشرية

لمن لا يعرفون قصة الأرض المسطحة، هي تدور عن الحياة في بُعدين، ومدى حيرة قاطني هذا العالم ثنائي الأبعاد، الذين يعجزون عن تخيل مع تعنيه كلمات مثل «أعلى» و«أسفل»، حيال كيفية الحياة في عالم ثلاثي الأبعاد. المغزى من هذه القصة أننا نحن البشر نصاب بنفس الحيرة حين نحاول تخيل عالم له أكثر من ثلاثة أبعاد (وأنا أقر بهذا). إلا أن عجزنا عن تخيل شيء ما لا يعد دليلًا على عدم وجوده، فأنا مثلًا أعجز عن تخيل مبلغ المليار دولار، لكن من الواضح أن بعض الأشخاص يملكون هذا المبلغ بالفعل.

أما إبوت فقد كان احتمال وجود أبعاد إضافية في الفضاء ليس إلا فكرة مسلية له؛ إذ لم يكن يملك أي دليل على أن الفضاء به أكثر من ثلاثة أبعاد ولم يكن يعرف سببًا، استنادًا إلى فيزياء عصره، يدعوه للافتراض بوجود هذا الأمر. (أنا لا أشير هنا إلى حقيقة أن الزمن يوصف في بعض الأحيان بأنه البعد الرابع، فهذا أمر مختلف اختلافًا كليًّا.) لكن بعد ظهور كتابه بأربعين عامًا طُرحت فكرة احتواء الفضاء على «أربعة» أبعاد وليس فقط ثلاثة بواسطة عالم رياضيات ألماني يدعى ثيودور كلاوزا. لكن قبل أن أتحدث عن نظرية كلاوزا ينبغي عليّ أن أوضح ما أعنيه بالبعد الإضافي للفضاء. يسمح الفضاء المألوف ثلاثي الأبعاد بالحركة في ثلاثة اتجاهات بعضها عمودي على بعض؛ على سبيل المثال لأعلى وأسفل، وللأمام والخلف، ومن جانب لجانب. وأي حركة لا بد أن تتضمن نوعًا من الإزاحة نحو

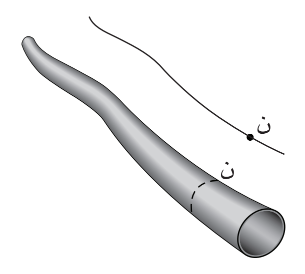
واحد، أو أكثر، من هذه الأبعاد الثلاثة. وببساطة لا يوجد مكان آخر يمكن التحرك فيه. يسمح البعد الرابع بالحركة في اتجاه آخر «رابع» عمودي على هذه الاتجاهات الثلاثة. من البديهي أنه لا يمكن حدوث ذلك في الفضاء المألوف، لكن من الممكن دراسة فضاء متخيل يملك هذه الخاصية. ولن يكون الأمر أصعب عند تخيل خمسة أو ستة أو أكثر من الأبعاد؛ إذ يستخدم العلماء والمهندسون مثل هذه التركيبات في عملهم كأداة حسابية مفيدة.

والآن لنعد إلى الموضوع الرئيسي: هل يمكن أن يحتوي الكون بالفعل على أربعة (أو أكثر) من أبعاد الفضاء؟ الإجابة التلقائية على هذا السؤال هي لا؛ لأننا نرى أن هذا لا يحدث بالفعل. لكن دعونا لا نتسرع؛ إذ ربما يكون البعد الرابع موجودًا بالفعل، لكنه مخفي عنا بصورة ما.

(١٣) إخفاء أبعاد الفضاء

كيف يمكنك إخفاء أحد أبعاد الفضاء؟ هناك طريقتان لعمل ذلك؛ الطريقة الأولى اقترحها عالم الفيزياء السويدي أوسكار كلاين في عشرينيات القرن العشرين، وكانت فكرته بسيطة للغاية: تخيل أنك ترى خرطومًا لري الحديقة من بعد، سيبدو لك وقتها مثل الخط الملتوي. لكن إذا فحصته عن قرب فسيتضح لك أن هذا الخط هو سطح ثنائي الأبعاد مطوي على شكل أنبوب رفيع (انظر الشكل ٢-٩). إن ما بدا لك في البداية مجرد نقطة على الخط، هو في الحقيقة دائرة صغيرة تدور حول محيط الأنبوب. وبنفس الصورة، ربما يكون ما نعتقد أنه نقط في الفضاء ثلاثي الأبعاد هي في حقيقتها دوائر صغيرة ملتفة حول بعد رابع. وإذا كان محيط هذه الدوائر أصغر بكثير عن حجم الذرة فلن نلحظ وجود البعد الفضائي الإضافي من واقع ملاحظاتنا العادية، وسينكشف فقط بالتجريب الدقيق على المستوى دون الذري.

ليس هناك حد أقصى لعدد الأبعاد التي يمكن طيها — أو «دمجها» إذا استخدمنا المصطلح الرسمي — بهذه الكيفية. لكن مع وجود أكثر من بعد آخر إضافي هناك طرق متزايدة لدمج هذه الأبعاد. على سبيل المثال، يمكن أن يلتف بعدان إضافيان حول نفسيهما بشكل منفصل مثل خرطوم الري المذكور، لكن يمكن أيضًا أن يجتمع أحدهما مع الآخر — أو ينطوي أحدهما على الآخر — على صورة كرة دقيقة. يشير علماء الرياضيات إلى هذه الأشكال البديلة بأن لها



شكل ٢-٩: **كيف نخفي أحد أبعاد الفضاء؟** من بعد، يبدو خرطوم ري الحديقة مثل الخط الملتوي أحادي البعد، لكن عن قرب، نجد أنه في الحقيقة أنبوب رفيع. إن النقطة ن هي في حقيقتها دائرة صغيرة ملتفة حول البعد الثاني الإضافي. يمكن أن يكون الفضاء بنفس الشكل؛ فربما نكتشف أن كل نقطة في الفضاء، إذا كبرناها بالحجم المناسب، هي دائرة صغيرة ملتفة حول بعد رابع للفضاء.

طوبولوجيا متباينة. إن عدد الأشكال الممكنة يرتفع بدرجة كبيرة كلما أضفنا المزيد من الأبعاد. ولهذا، عند مناقشة شكل الفضاء علينا أن نحدد ليس فقط عدد الأبعاد الموجودة إجمالًا، بل أيضًا أي الأبعاد «كبيرة» (مثل الأبعاد الثلاثة التي نراها) وأيها مدمجة (ومن ثم غير مرئية). إضافة إلى ذلك علينا تحديد هندسة وطوبولوجيا الأبعاد المدمجة أيضًا. سنرى فيما بعد أن أبعاد الفضاء المدمجة تلعب دورًا في نظرية الأوتار وغيرها من المحاولات التي تهدف لبناء نظرية موحدة للفيزياء.

هناك طريقة ثانية يمكن بها إخفاء الأبعاد الإضافية عن النظر؛ ماذا لو كنا بطريقة ما أسرى، على غرار الأرض المسطحة، في الفضاء ثلاثي الأبعاد الذي نراه؟ بمعنى أن جزيئات أجسامنا، وجميع الأشياء الموجودة حولنا، «تعيش» في فضاء ثلاثي الأبعاد، وليست حرة للتحرك في أي بعد إضافي. من البديهي أن يؤثر هذا الأسر على الضوء بدوره، وإلا لكنا رأينا هذا البعد الرابع حتى لو لم نكن نستطيع التحرك فيه. إن فكرة الأسر هذه لم تثر لهذا الغرض تحديدًا؛ بل نراها تظهر بشكل طبيعي في بعض نظريات الفيزياء الأساسية والمعروفة باسم نظريات «الغشاء» brane theories، التي تُستخدم في تسميتها كلمة brane كتشبيه بكلمة membrane (التي تعني الغلاف ثنائي الأبعاد المدمج في الفضاء ثلاثي الأبعاد). وفق هذه النظريات فإن كوننا ثلاثي الأبعاد يمكن أن يكون غشاء ثلاثي الأبعاد مدمجًا في فضاء رباعي الأبعاد. لنظريات الغشاء قدر من الشعبية في بعض الأوساط، وهي تقدم تنبؤات محددة قابلة للاختبار بشأن طبيعة الجاذبية ومسلك

الجسيمات دون الذرية. لكن حتى الآن لا يوجد دليل تجريبي على أننا نعيش في غشاء ثلاثي الأبعاد، هناك فقط قدر كبير من النظريات الرياضية المثيرة للاهتمام.[18]

إن احتمال وجود عدد «كبير» من الأبعاد في الفضاء يثير تساؤلًا مهمًّا عن اختيار الطبيعة ثلاثة منها فقط. هل هناك مغزى معين للرقم ثلاثة؟ في الخمسينيات أوضح الرياضي الإنجليزي جيرالد ويترو[19] أنه لو كان للفضاء أربعة أبعاد، فإن قوانين الجاذبية والكهرومغناطيسية ستظل بلا تغيير، لكننا سنواجه متاعب جمة؛ فقانون التربيع العكسي سيتحول إلى قانون تكعيب عكسي، وبقليل من التفكير سنجد أن مدارات الكواكب هكذا لن تكون مستقرة، وسرعان ما تدور الأرض بشكل حلزوني إلى أن تغوص في الشمس. أيضًا ستُبتلى الذرات بمشاكل مشابهة تضرب استقرارها. وإذا كان بالفضاء خمسة أبعاد فستكون المشاكل أكبر. أما لو كان هناك بعدان فقط فستواجه الموجات مشكلة في الانتشار والانعكاس، ما يؤدي إلى آثار معقدة قد تؤثر على قدرة النظم المعقدة على التصرف بطريقة مترابطة منطقيّة. لهذا استنتج ويترو أن الحياة ستكون مستحيلة في أي فضاء يوجد به غير ثلاثة أبعاد. فالبعدان أقل من اللازم، والأربعة أكثر من اللازم، لكن الأبعاد الثلاثة مناسبة للغاية؛ تمامًا كما في قصة جولديلوكس. وهكذا تقابلنا سمة أخرى من سمات الكون الداعمة للحياة تحتاج لتفسير.

النقاط الأساسية

- بدأ الكون بانفجار عظيم حار منذ حوالي ١٣٫٧ مليار عام ولا يزال في حالة تمدد. أفضل وسيلة لتخيل هذا التمدد هو تخيل الفضاء بين المجرات وهو يتوسع.
- الفضاء مليء بإشعاع حراري هو بقايا، أو توهج متبقٍّ، للمرحلة الأولى الحارة من الكون. أُخْضِعَ إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، الذي يعرف اختصارًا باسم إشعاع الخلفية، لدراسات مستفيضة أبرزها تلك التي تمت بالقمر الصناعي WMAP، وذلك لأنه يحوي معلومات مهمة عن تاريخ الكون وبنيته.
- تكشف التفاوتات في مستوى شدة إشعاع الخلفية عن بذور البنى الضخمة الأساسية للكون (عناقيد للمجرات).

- ليس للكون مركز أو طرف يمكن رؤيته.
- بما أن الضوء يسافر بسرعة محددة، فهناك مسافات قصوى، أو أفق، لا يمكن رؤية ما وراءه في الفضاء.
- توصف الجاذبية من خلال نظرية النسبية العامة لأينشتاين فيما يخص علاقتها بانحناء الفضاء (أو على وجه أكثر تحديدًا انحناء الزمكان). الفضاء المنحني شيء مألوف لعلماء الفلك.
- مع أن الفضاء ينحني في مواضع بعينها، بسبب النجوم والمجرات، فإن الهندسة الكلية للكون تبدو مستوية (إقليدية). تتنبأ نظرية النسبية العامة لأينشتاين بأنه ينبغي أن تساوي الكتلة الكلية للكون صفرًا؛ حيث تُلغى الكتلة/الطاقة الموجبة للمادة بفعل الكتلة/الطاقة السالبة لحقل الجاذبية الخاص بكل المادة الموجودة في الكون.
- ربما توجد أبعاد أخرى في الفضاء غير الأبعاد الثلاثة التي ندركها. تتطلب بعض نظريات الفيزياء ذلك. من الممكن أن تكون الأبعاد الأخرى مخفية عن ناظرينا عن طريق، مثلًا، طيها إلى حجم ضئيل.